MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900
À PARIS

RAPPORTS
DU JURY INTERNATIONAL

Groupe IV. — Matériel et procédés généraux de la mécanique

DEUXIÈME PARTIE. — CLASSE 20

PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M CMIV

C. F. E.

RAPPORTS DU JURY INTERNATIONAL

DE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900

150

MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900
À PARIS

RAPPORTS
DU JURY INTERNATIONAL

Groupe IV. — Matériel et procédés généraux de la mécanique

DEUXIEME PARTIE. — CLASSE 20

PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M CMIV

Fb 250

AVANT-PROPOS.

Le Jury de la Classe 20 nous a chargé de rendre compte de ses opérations et de présenter un rapport sur les machines qu'il a eu à examiner.

Cette Classe, à l'Exposition universelle internationale de 1900, faisait partie du Groupe IV : *Matériel et procédés généraux de la mécanique;* elle comprenait, d'après la classification annexée au règlement, et sous la dénomination assez générale de « Machines motrices diverses » :

« Les machines à air chaud, à pétrole, à air comprimé ou raréfié, à ammoniaque, à acide carbonique, les organes et accessoires de ces machines, les récepteurs hydrauliques, roues, turbines, machines à colonne d'eau, etc.;

« Les moulins à vent et pananémones;

« Les manèges, tambours à chevilles, moteurs à ressort, à poids, à pédale, etc. »

En un mot, tous les moteurs et organes à l'exception des machines à vapeur, qui constituaient à elles seules la Classe 19 du même groupe, et des moteurs électriques, inscrits dans le Groupe V.

La diversité de ces machines et surtout le développement pris par les moteurs à gaz et à pétrole dans ces dix dernières années permettaient de prévoir la place importante qu'elles occuperaient à l'Exposition; ces prévisions, disons mieux, ces espérances se seraient certainement réalisées si toutes les machines dépendant de cette Classe avaient pu être groupées et exposées au Champ-de-Mars.

Mais l'Administration, faute d'emplacement malgré la superficie considérable dont elle disposait au Champ-de-Mars, dut, pour répondre aux nombreuses demandes qu'elle recevait, créer à Vincennes une annexe où elle relégua notamment les moteurs à pétrole, les moteurs à gaz pauvre avec leurs gazogènes, alors que les moteurs à gaz et les autres machines de la Classe 20 étaient exposés au Champ-de-Mars.

En scindant l'exposition de cette Classe, l'Administration mit les constructeurs de moteurs à gaz, qui pour la plupart sont aussi constructeurs

de moteurs à pétrole, dans l'obligation de n'exposer qu'une partie de leur fabrication ou d'entretenir un double personnel d'ouvriers pour la conduite et la surveillance de leurs machines, un double personnel de représentants pour répondre aux demandes des visiteurs.

Beaucoup d'industriels, pour ne pas assumer les frais d'une double exposition, répondirent par un refus aux sollicitations du Comité d'admission; d'autres, qui s'étaient cependant fait inscrire, renoncèrent au dernier moment à exposer, et c'est ainsi que, sur les 161 exposants portés au catalogue, 118 seulement prirent part à l'Exposition : 67 Français, 51 étrangers.

Le Jury eut à examiner 132 expositions, 14 exposants ayant exposé et au Champ-de-Mars et à Vincennes.

Il dut tout d'abord rechercher ceux des exposants mis hors concours, conformément aux articles 89 et 90 du Règlement général, soit comme membres d'un Jury à titre de jurés titulaires ou suppléants, soit comme adjoints au Jury de la Classe 20 comme associés ou experts.

Onze exposants se trouvant dans ces conditions furent déclarés hors concours :

M. Le Blanc (Jules), vice-président (Classe 20);
M. Brulé (Henri), secrétaire du Jury (Classe 20);
Compagnie française des moteurs à gaz et des constructions mécaniques, M. Firminhac, rapporteur, administrateur délégué de la Compagnie;
M. Worms de Romilly (Paul), membre du Jury (Classe 20);
M. Singrün (Joseph), membre du Jury (Classe 20);
M. Roser, membre du Jury (Classe 19);
Société générale des industries économiques, M. Manaut, administrateur délégué, secrétaire du Jury (Classe 117);
Anciens établissements Panhard et Levassor, M. Clément, administrateur, membre du Jury (Classe 30);
Société anonyme des ateliers de la Meuse, M. Timmermans, directeur, membre du Jury (Classe 19);
Fabrique de machines à vapeur d'Augsbourg, M. Krumper, directeur, membre du Jury;
M. Rouart, expert du Jury.

Cette formalité remplie, le Jury procéda à l'examen des 132 expositions en présence des exposants ou de leurs représentants. Il consacra 18 séances à cette étude et décerna :

9 grands prix; 22 médailles d'or; 30 médailles d'argent; 22 médailles

de bronze; 18 mentions honorables. Soit ensemble 101 récompenses pouvant se répartir suivant les nationalités en :

	EXPOSANTS	
	FRANÇAIS.	ÉTRANGERS.
Grands prix	4	5
Médailles d'or	9	13
Médailles d'argent	15	15
Médailles de bronze	12	10
Mentions honorables	13	5
TOTAUX	53	48

Soit ensemble 101 récompenses.

Si l'on répartit ces mêmes récompenses entre les deux groupes bien distincts constituant la Classe 20, celui des moteurs à gaz et celui des moteurs hydrauliques, on constate qu'il a été attribué au premier groupe 69 récompenses et au second 32, savoir :

	MOTEURS	
	À GAZ.	HYDRAULIQUES.
Grands prix	5	4
Médailles d'or	15	7
Médailles d'argent	24	6
Médailles de bronze	12	10
Mentions honorables	13	5
TOTAUX	69	32

Ce qui fait un total de 101 récompenses.

Enfin, le Règlement attribuant des récompenses aux collaborateurs des exposants, sur les propositions qui lui furent faites, le Jury, après examen, décerna 27 médailles d'or, 69 médailles d'argent, 108 médailles de bronze et 3 mentions honorables.

Nous venons de rendre compte très succinctement des opérations du Jury, mais la tâche du rapporteur ne fait que commencer.

Nous devons, en effet, passer en revue les moteurs exposés, les décrire, signaler leurs avantages, faire ressortir les particularités qui les caractérisent et celles qui les différencient les uns des autres.

Pour la clarté de la rédaction, nous avons groupé dans la première

partie du rapport tous les genres de moteurs hormis les moteurs hydrauliques, qui constituent la deuxième partie; chaque partie est précédée d'un exposé des progrès réalisés dans cette industrie depuis l'Exposition de 1889.

Nous tenons à exprimer ici tous nos remerciements personnels à M. Singrün, membre du Jury, dont la collaboration nous a été des plus utiles et des plus précieuses. Il est l'auteur de la partie du rapport relative aux machines hydrauliques.

E. Firminhac.

CLASSE 20

Machines motrices diverses

RAPPORT DU JURY INTERNATIONAL

PAR

M. FIRMINHAC

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES

C. F. E.

IMPRIMERIE NATIONALE.

COMPOSITION DU JURY.

BUREAU.

MM. Prasil, professeur à l'École polytechnique fédérale, à Zurich, *président*..... Suisse.

Le Blanc (Jules), moteurs à air chaud, *vice-président*..... France.

Firminhac (Eugène), ingénieur civil des mines, administrateur délégué de la Société française des moteurs à gaz et des constructions mécaniques, *rapporteur*..... France.

Brulé (Henri), ingénieur des arts et manufactures, moteurs à pétrole [ancienne maison Hermann-Lachapelle], *secrétaire*..... France.

JURÉS TITULAIRES FRANÇAIS.

Singrün (Joseph), turbines [maison Singrün frères]..... France.

Worms de Romilly (Paul), inspecteur général des mines..... France.

JURÉS TITULAIRES ÉTRANGERS.

Hubert (H.), ingénieur en chef, directeur des mines, chargé de cours à l'Université, à Liège..... Belgique.

Cawley (Georges), ingénieur conseil..... Grande-Bretagne.

JURÉ SUPPLÉANT FRANÇAIS.

Wehrlin (Charles), ingénieur des arts et manufactures, administrateur de la Compagnie française des métaux..... France.

JURÉ SUPPLÉANT ÉTRANGER.

Hanning (William), membre de la Chambre de commerce à Paris et de la Société internationale des électriciens de Paris..... Grande-Bretagne.

MACHINES MOTRICES DIVERSES.

PREMIÈRE PARTIE.

MOTEURS À GAZ ET À PÉTROLE.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Les moteurs à gaz aux diverses expositions. — Avant de rappeler les diverses étapes parcourues par le moteur à gaz et de signaler les progrès réalisés pendant les périodes décennales qui ont séparé nos diverses Expositions universelles, nous jetterons un coup d'œil rapide sur son passé, nous relaterons les inventions les plus importantes qui ont facilité la création des moteurs actuels, nous montrerons pour quelles causes ils ont fini par acquérir dans l'industrie générale une place prépondérante.

Le moteur à gaz étant un moteur à explosion, l'éminent professeur M. Witz, qui fait autorité en ces matières, attribue son invention à l'abbé Jean Hautefeuille, celui-là même qui eut l'idée d'utiliser un appareil à poudre pour l'élévation des eaux.

C'est à Huyghens que revient l'honneur d'avoir réalisé la première machine à explosion; l'invention de Lebon permit de créer de véritables moteurs à gaz, mais ce n'est qu'en 1860 que M. Lenoir fit de cette invention une application industrielle.

Ce moteur à gaz de Lenoir, à double effet, à distribution par tiroir et à circulation d'eau, rappelait par bien des points la machine à vapeur dont il nétait qu'une copie. Rien ne le signalait à l'attention générale, et, bien qu'il supprimât la chaudière, le chauffeur et l'approvisionnement de combustible, il ne pouvait aspirer à remplacer la machine à vapeur, sa consommation de trois mètres cubes de gaz par cheval-heure rendant son emploi trop onéreux.

Le moteur Hugon, qui vit le jour vers la même époque, différait sensiblement de celui de Lenoir. L'inflammation se faisait par flamme et non par étincelle électrique, les parois n'étaient plus refroidies par une circulation d'eau, mais par une injection dans le cylindre d'eau pulvérisée, qui, en se transformant en vapeur, servait de lubrifiant.

Milon fit breveter la compression préalable. Beau de Rochas, en 1862, prit un brevet pour un système de moteur dans lequel devait être appliqué pour la première fois le cycle à quatre temps; ces inventions étaient importantes, mais les deux inventeurs, qui n'avaient pas donné d'ailleurs les indications pour les réaliser, s'en désintéressèrent et les laissèrent bientôt tomber dans le domaine public.

C'est à Otto que devait revenir le mérite d'établir le premier moteur à quatre temps. C'est ce moteur qui a révolutionné cette industrie et c'est lui qui a servi de prototype à la plupart des modèles que nous voyons exposés en 1900.

Avant cette mémorable invention, MM. Otto et Langen avaient fait breveter et construire un moteur à gaz atmosphérique qui fit sensation à l'Exposition de 1867.

Ce moteur permettait d'obtenir le cheval-heure avec une consommation de 900 litres, c'est-à-dire d'un tiers de la dépense des moteurs précédemment établis. Il se composait d'un long cylindre ouvert à sa partie supérieure et parcouru par un piston dont la tige dentée en forme de crémaillère commandait un pignon. Ce pignon, fou pendant l'ascension du piston, se bloquait à la descente et transmettait à un arbre le mouvement que lui imprimait la crémaillère de la tige du piston. Un tiroir, commandé par un excentrique, laissait pénétrer par deux ouvertures le gaz et l'air qu'appelait le vide formé par l'ascension du piston. L'allumage avait lieu par aspiration de la flamme d'un brûleur.

L'explosion produite, le piston était projeté avec force et sa crémaillère entraînait le pignon fou sur son arbre. Le gaz brûlé se détendant à une pression bien inférieure à celle de l'atmosphère, il se faisait un vide partiel dans le cylindre au-dessous du piston, tandis qu'à son dessus la pression de l'atmosphère, s'ajoutant à son propre poids et à celui de tout son attelage, déterminait avec un effet utile un mouvement rétrograde. Les produits de la combustion expulsés, un nouveau mélange était aspiré à l'ascension suivante.

Ce moteur, qui paraît assez simple, présentait à la construction de sérieuses difficultés.

Pour rendre alternativement fou et fixe le pignon commandant l'arbre, il fallait trouver un embrayage approprié; il fallait, de plus, par un dispositif spécial, commander l'excentrique relié au tiroir et par un autre excentrique relever le piston pour lui permettre d'aspirer le mélange tonnant.

MM. Otto et Langen furent assez heureux pour surmonter ces diverses difficultés, mais ils ne purent parvenir à supprimer le ferraillement des engrenages, le bruit assourdissant provoqué par l'explosion et l'irrégularité de marche.

Malgré ce triple inconvénient qui rendait son emploi peu agréable, le succès de ce moteur fut énorme, et il devait en être ainsi, car il répondait aux desiderata formulés depuis longtemps par la petite industrie : d'un moteur exigeant peu de surveillance, facile à mettre en marche, d'une installation commode et d'un fonctionnement relativement économique. Le moteur Otto-Langen eut le mérite de satisfaire le premier ces besoins industriels. Cinq mille installations, en moins de dix ans, devaient récompenser ces constructeurs.

Ce succès sans précédent devait susciter les concurrences. Un voisin de MM. Otto et Langen, M. Gilles, s'ingénia à atténuer les défauts du moteur fabriqué à Deutz. Pour diminuer le bruit provenant de l'explosion du mélange détonant, il conçut l'idée de déterminer cette explosion entre deux pistons, dont l'un était moteur, tandis que l'autre se mouvait librement et n'avait pour but que d'assourdir le bruit.

Ce moteur, construit par la Société Humboldt, eut peu de succès en Allemagne mais fut en revanche assez apprécié en Angleterre.

Cependant MM. Otto et Langen continuaient leurs recherches avec intelligence et

obstination, et après de longs et pénibles essais, ils furent assez heureux pour présenter à l'Exposition de 1878 un moteur parfait, construit sur le principe du cycle à quatre temps.

Nous aurons l'occasion de revenir sur ce type de machine bien connu, qui a eu un succès aussi général que mérité, et qui a fait connaître à l'univers entier les noms de ses créateurs.

D'autres inventeurs, notamment MM. Ravel Bischop, Simon et fils, présentèrent à cette même Exposition des moteurs basés sur des principes différents, qui eurent un certain succès.

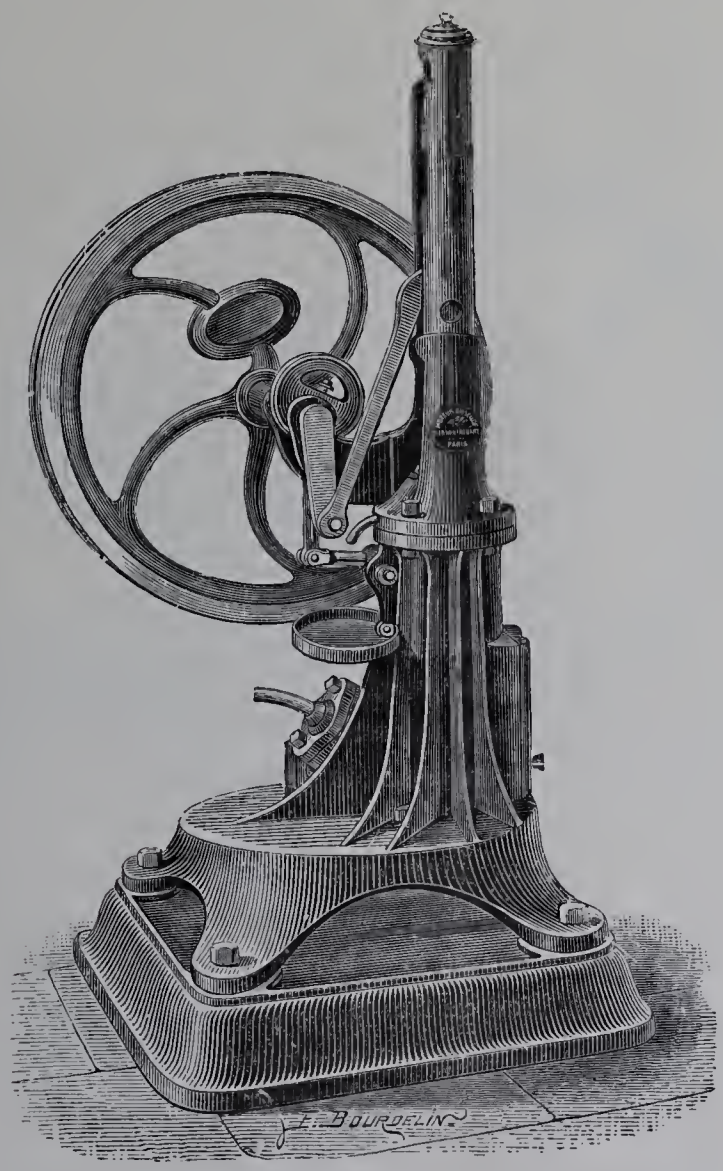


Fig. 1. — Moteur Bischop.

Le moteur Bischop (fig. 1), construit uniquement pour de faibles forces, était destiné à concurrencer l'Otto-Langen. Moins bruyant que ce dernier, sa dépense, il est vrai, était un peu plus élevée, mais pour des machines de faible importance, par exemple de 6 à 25 kilogrammètres, cet excédent de dépense totale par heure de marche avait une faible importance.

Ce moteur utilisait l'explosion à la montée du piston et la pression atmosphérique durant une partie de la descente; il était donc à double effet, tandis que l'Otto-Langen était à simple effet, l'effet utile ne se produisait qu'à la descente du piston.

Entre le mélange explosif et le fond du cylindre était ménagé un espace rempli d'air. Au moment de l'explosion, cet air se dilatait sous l'influence de la chaleur et venait joindre son effort à celui du mélange détonant; à la descente du piston cet air se refroidissait au contraire et servait à amortir la chute.

Ajoutons que le refroidissement était obtenu non plus par circulation d'eau, mais par rayonnement du cylindre, muni à cet effet d'ailettes qui quintuplaient sa surface.

Le moteur Simon différait essentiellement de tous ceux que nous avons décrits : le mélange d'air et de gaz, préalablement comprimé, était amené au fond du cylindre, où il s'enflammait progressivement au contact d'un brûleur. L'explosion était ainsi remplacée par une combustion lente qui, en déterminant la dilatation du gaz, donnait l'impulsion au piston. L'échappement du gaz servait au chauffage d'une petite chaudière tubulaire alimentée par l'eau ayant servi au refroidissement du cylindre. La vapeur pénétrant dans le cylindre se surchauffait et ajoutait ainsi son action à celle de la combustion du gaz. Ce moteur ne consommait, paraît-il, que 800 litres par heure.

Le moteur Ravel était à double effet et à cylindre oscillant, la tige du piston attaquant directement l'arbre coudé.

De tous ces moteurs exposés en 1878, un seul, le moteur Otto, devait recevoir la consécration d'un succès réel et mérité. Son fonctionnement parfait, sa marche régulière et silencieuse, son élégance de forme, contribuèrent à lui attirer la faveur du public. Son seul défaut résidait dans sa consommation relativement élevée. Ce défaut, peu sensible pour les moteurs de faible puissance, seuls construits jusqu'à cette époque, se manifesta surtout lorsque les constructeurs entreprirent d'établir des moteurs de dix chevaux et même plus. La consommation de 800 litres par cheval-heure devint avec l'emploi de moteurs de cette puissance trop élevée pour être économique, étant donné le prix du gaz d'éclairage: aussi de nombreux inventeurs s'efforcèrent-ils de la diminuer.

En Allemagne, les frères Koerting exploitèrent le brevet Liekfeld, assez semblable à celui de Jellig, dont il ne différait en réalité que par l'allumage.

En Angleterre, Dugald Clerk inventa un moteur à deux temps, dans lequel la compression avait lieu dans un cylindre spécial, servant également à la compression d'air pur destiné à chasser les résidus de la combustion.

Mais ces divers moteurs, pas plus économiques que l'Otto, pêchaient en outre trop par ailleurs pour le remplacer.

C'est ce qui explique que le moteur de la fabrique de Deutz ait toujours conservé sa vogue et sa faveur premières. Ces constructeurs ne négligeaient rien d'ailleurs pour continuer de mériter le succès. Non contents d'améliorer leurs produits, ils entreprirent la création de modèles nouveaux répondant à tous les besoins industriels et c'est ainsi qu'ils furent amenés, dès 1881, par leurs efforts constants et leurs patientes recher-

ches, à l'établissement du premier moteur de 50 chevaux, à deux cylindres, rivalisant par la régularité de sa marche avec la machine à vapeur.

L'apparition de ce moteur, que l'on put voir fonctionner à l'Exposition d'électricité de 1881, marque une époque importante dans l'histoire des moteurs à gaz; elle fut le point de départ d'une ère nouvelle d'activité et de progrès.

M. Lenoir, stimulé par le succès obtenu par le moteur Otto, s'engagea résolument dans la voie tracée par le grand inventeur, et dès 1883 présenta un moteur qui, construit par l'importante maison Mignon et Rouart et par la Compagnie parisienne du Gaz, jouit longtemps d'une vogue méritée.

Ce moteur, soigneusement construit, différait peu de l'Otto qu'il ne cessa de rappeler complètement qu'à la suite d'un procès retentissant : allumage électrique, distribution entièrement par soupapes, culasse à ailettes (fig. 2).

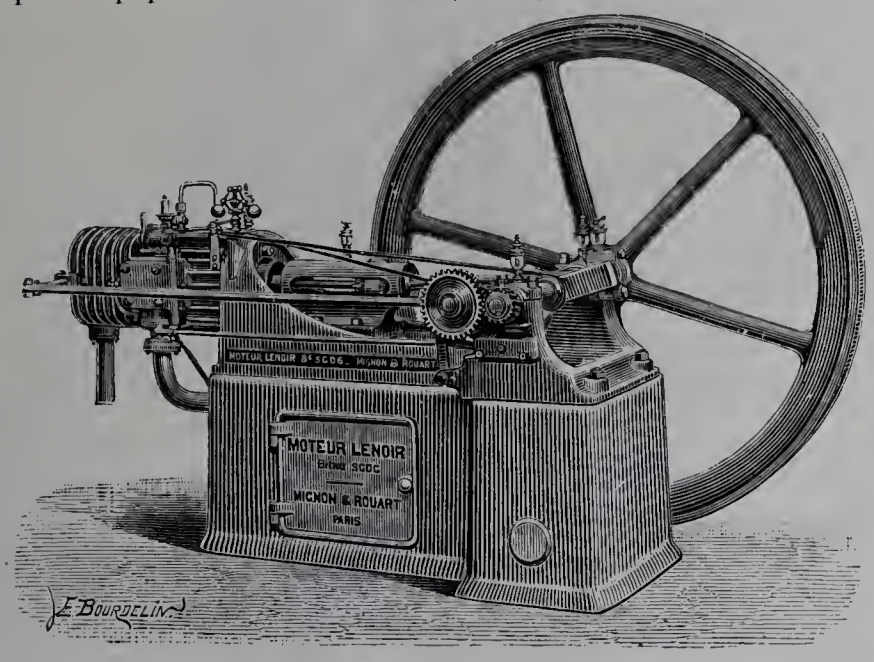


Fig. 2. — Moteur Lenoir à compression.

Nous ne mentionnerons pas, année par année, tous les moteurs qui, successivement, virent le jour. Nous ne retiendrons de leur liste très longue que ceux qui affirmèrent leur vitalité et furent exposés en 1889.

Lors de l'Exposition de 1889, l'examen et la comparaison des moteurs exposés montra que l'Otto, bien que n'ayant subi aucune modification essentielle depuis 1878, restait toujours le prototype des moteurs à gaz.

Amélioré seulement dans sa construction, il se présentait encore au public avec ses qualités bien connues, tel que ses inventeurs l'avaient créé. Les modèles exposés étaient seulement plus nombreux, plus variés, plus appropriés aux besoins spéciaux de l'industrie. C'est ainsi, par exemple, que pour répondre à la demande d'un moteur très puissant, formulée depuis longtemps, la Société française exploitant les brevets Otto présentait un moteur à gaz de la force de 100 chevaux à côté d'autres moteurs de faible puissance destinés à répondre aux besoins des petits industriels.

Également au gaz fonctionnaient :

Le moteur « Simplex », de MM. Delamare, Debouteville et Malandin, horizontal, un cylindre, sans glissière, distribution par soupapes, allumage électrique, régulateur pendulaire;

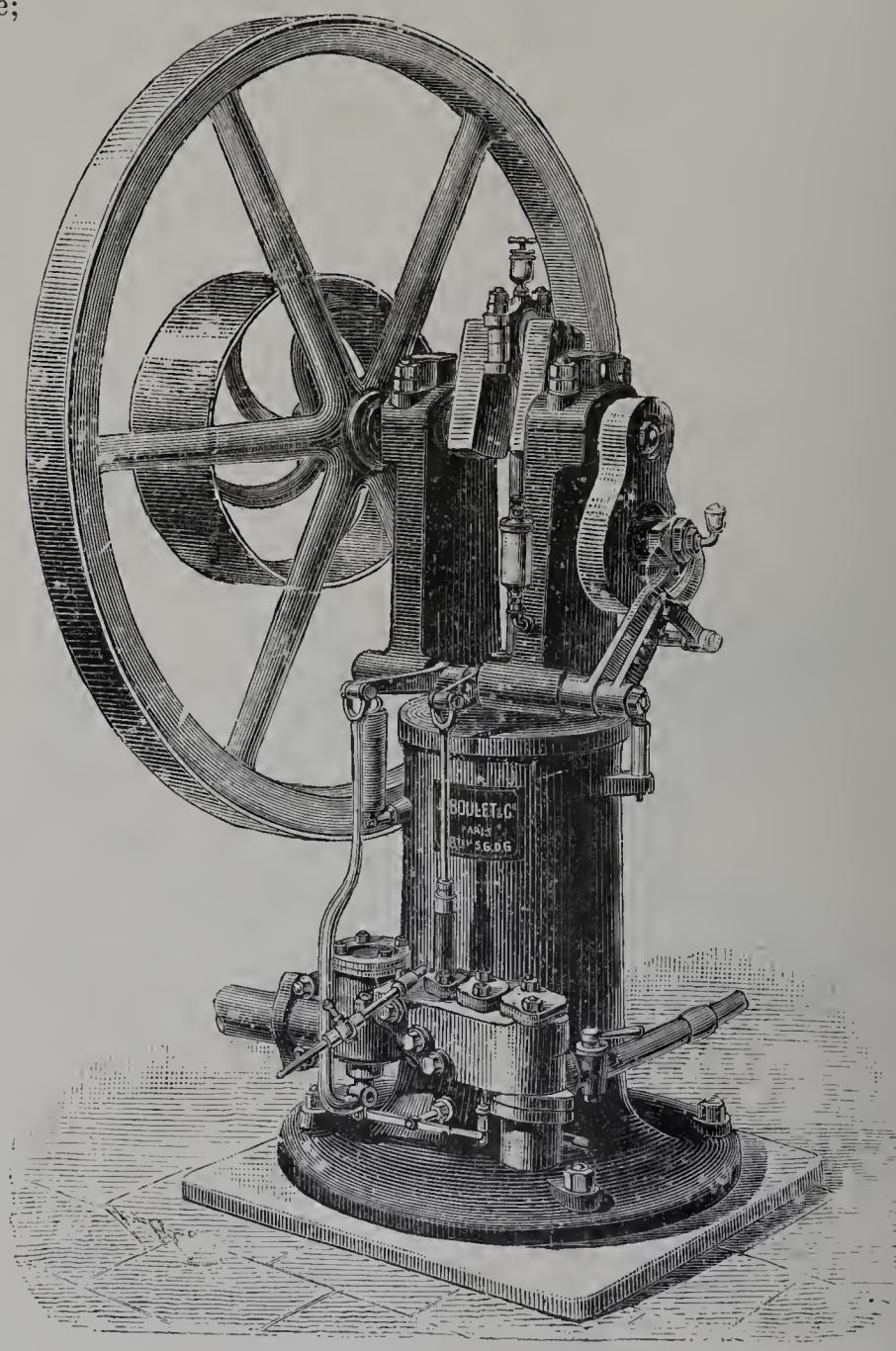


Fig. 3. — Moteur à gaz Kœrting (élévation).

Le moteur Lenoir du nouveau type dont il a été question plus haut (fig. 2);

Le moteur Niel, apparaissant, alors caractérisé par un distributeur d'admission et contrôleur d'allumage formé par un robinet tournant, un régulateur à ressort et un allumage par tube incandescent;

Le moteur Charon, un nouveau venu également, à détente prolongée, grâce au remisage préalable d'une partie du mélange admis dans un serpentin ouvert;

Le moteur Forest à deux pistons se mouvant en sens contraire dans un cylindre unique;

Le moteur Koerting (fig. 3), vertical, à allumage par propagation de flamme, exploité en France par l'ancienne maison Hermann-Lachapelle;

Le moteur Crosley, contruit par les licenciés du moteur Otto, en Angleterre; moteur Otto dans lequel la glissière et le tiroir sont supprimés; l'allumage se faisant par tube incandescent, l'admission par soupape.

Puis viennent les moteurs Durand, Tenting, Martini, moteurs également au gaz et suivant le cycle à 4 temps.

Le cycle à 2 temps était représenté par les moteurs Ravel, Benz, Baldwin, Taylor.

Dans le nouveau moteur Ravel, une pompe à gaz et une pompe à air, cette dernière formée par l'avant du cylindre à double effet, chargent l'arrière du cylindre de mélange explosif, pendant la fin de la course avant et le commencement de la course arrière, l'échappement étant ouvert; allumage électrique; soupapes.

Dans le moteur Benz, il y aussi deux pompes constituées de même façon, mais il y a entrée préalable d'air pur, chasse des produits brûlés et injection de gaz sous pression dans l'air pur. Allumage électrique; soupapes.

Le moteur Baldwin, américain, et le moteur Taylor, anglais, découlaient du type Dugald Clerk, à pompe de mélange tout formé. Dans le premier cette pompe était formée par l'avant du cylindre fermé; soupapes et électricité dans le premier; soupapes et tube incandescent dans le second.

Citons enfin le moteur Griffin, à 6 temps, 2 temps étant employés à aspirer, puis expulser une charge d'air pur destinée à rafraîchir et nettoyer le cylindre. Moteurs à simple ou double effet; puis les anciens moteurs sans compression : Bischop (fig. 1), Bénier, Laviornery.

A cette exposition on vit pour la première fois apparaître des moteurs fonctionnant avec un autre gaz que le gaz d'éclairage, avec des essences de pétrole, de l'huile de pétrole et même du gaz pauvre.

Déjà en 1872 M. Brayton avait pris en Amérique un brevet pour un moteur à pétrole qui reçut sa forme définitive en 1876.

L'air comprimé par une pompe traversait une série de disques en bronze perforés entre lesquels se trouvait une masse spongieuse imprégnée d'hydrocarbure lourd que renouvelait le jet d'une petite pompe.

L'air ainsi divisé se chargeait d'hydrocarbure et c'est sous forme de vapeur de gaz que le liquide était entraîné et projeté sur une toile métallique derrière laquelle la combustion se produisait sans interruption et sans explosion. Pour mettre en marche il suffisait d'enflammer le liquide avec une allumette.

Jusqu'en 1889 peu de moteurs à pétrole furent construits, mais beaucoup de brevets furent pris.

A l'Exposition de 1889 nous voyons pour la première fois des moteurs à pétrole dans le stand de la Société Otto qui exploite en France les brevets de la fabrique de Deutz.

Ces moteurs ne différaient de ceux à gaz que par quelques détails de construction; ils fonctionnaient comme lui d'après le cycle à quatre temps. Le gaz était distribué par une soupape commandé par un régulateur, l'air était aspiré et son admission réglée par un robinet.

L'admission du mélange se faisait par une soupape et non par un tiroir; l'inflammation était produite par l'étincelle d'une magnéto.

Le carburateur différait de celui de Brayton. C'était un réservoir rempli à moitié d'essence de pétrole que l'air aspiré par le piston venait traverser; cet air divisé se chargeait d'hydrocarbure. Un courant d'eau chaude venant du refroidissement du moteur permettait d'élever la température de l'essence et de faciliter ainsi la carburation de l'air.

Les moteurs Durand, à carburateur à barbotage, allumage par magnéto; Lenoir à carburateur rotatif; Noël, destiné aux petites forces; Benz, horizontaux, l'un à allure lente, l'autre à grande vitesse; Simplex, Forest et Daimler, de types particuliers sur lesquels nous reviendrons, fonctionnaient également à l'essence de pétrole.

Ils étaient tous du type dit à 4 temps. Leurs applications étaient des plus variées :

Durand et Lenoir présentaient des locomobiles; Lenoir, Benz, Tenting, Daimler des canots; Benz une automobile et Daimler un petit tramway automoteur.

C'est la première exposition où pareilles applications voyaient le jour.

La voiture de Benz était à trois roues, transmission par courroies; le tramway de Daimler comportait tous les organes qui devaient plus tard en faire les célèbres automobiles Daimler en Allemagne, Panhard et Levassor en France.

Dans le moteur Daimler tous les organes essentiels étaient enfermés dans un carter, le graissage par force centrifuge était ainsi assuré et la déperdition d'huile évitée. L'allumage se faisait par un tube de platine porté au rouge. Le cylindre, fermé à une extrémité seulement, était placé au-dessus du carter avec lequel il était en communication constante par son fond ouvert. Un des plateaux du carter portait à son centre une soupape qui s'ouvrait à l'intérieur et appelait l'air lorsque le piston remontait. Cette soupape se fermait lorsque le piston descendait et le piston comprimait ainsi l'air enfermé dans le carter. Cet air comprimé agissait sur une soupape placée sur le piston, la soulevait, pénétrait ainsi à l'avant du cylindre et chassait les produits de la combustion provenant de l'explosion précédente par la soupape d'échappement qu'ouvrait à ce même moment le régulateur. La soupape d'échappement fermée, l'admission du gaz se faisait et le moteur travaillait alors comme l'Otto.

Le volant étant placé à l'intérieur du carter, on ne pouvait agir sur lui pour mettre le moteur en marche. On remédiait à cet inconvénient en fixant à l'extrémité de l'arbre du volant une manivelle qui, à la première explosion, se déclenchait d'elle-même.

Ce moteur tournant à la vitesse de 700 tours, ses dimensions se trouvaient très réduites et son poids très faible. Nul ne convenait donc mieux que lui pour la locomotion sur route. Mais il fallait avoir l'idée de l'application à cette industrie et ce mérite revient incontestablement à M. Levassor, directeur de la célèbre maison Panhard et Levassor.

Le moteur Forest, à essence, était destiné aux embarcations. Il comportait quatre cylindres dont un au moins se trouvait à la compression. En faisant partir une étincelle dans ce cylindre et en intervertissant la distribution on changeait le sens de la marche.

Un seul moteur, du système Mire, suivant le cycle à 2 temps, fonctionnait à l'essence. Il pouvait également être alimenté au gaz.

On ne signalait alors que deux moteurs employant le pétrole lampant :

Le moteur Ragot, d'origine belge, et le moteur Sécurité, construit par la maison Diédrich de Bourgoin (Isère).

Le premier était vertical, le cylindre à la base, distribution par soupapes, allumage électrique. Le pétrole goutte à goutte tombait sur les parois d'un cône creux chauffé par l'échappement en marche normale, par une lampe à la mise en marche.

Les vapeurs de pétrole mélangées à de l'air alimentaient le cylindre.

Dans le moteur Sécurité, horizontal, à distribution par soupapes, allumage par capsule incandescente, la vaporisation du pétrole se faisait dans un serpentin chauffé par l'échappement.

Le gaz pauvre avait deux représentants à l'Exposition de 1889.

Un moteur Otto de 20 chevaux, à un cylindre, fonctionnait deux fois par semaine, alimenté par un gazogène Dowson, dans un hangar sur les bords de la Seine, et un moteur Simplex de 75 chevaux, à un cylindre, alimenté par un gazogène Lencauchez, qui fut remplacé à la fin de l'exposition par un gazogène Dowson, actionnait les pompes et machines élévatoires installées sur les bords de la Seine.

Nous avons passé en revue les 53 moteurs, représentant plus de 1,000 chevaux de force, qui furent exposés en 1889.

Un groupe, un ensemble aussi imposant de machines nouvelles et en fonctionnement, étaient bien faits pour attirer l'attention des intéressés et on peut affirmer que cette exhibition contribua puissamment à la vulgarisation des moteurs à gaz et à pétrole.

Après cette exposition, les ingénieurs furent fixés : le moteur à quatre temps laissait loin derrière lui comme régularité et fonctionnement tous les moteurs à deux et à six temps ainsi que les moteurs atmosphériques.

Il n'y avait qu'à attendre l'expiration du brevet Otto, qui devait arriver en 1890, pour se lancer hardiment dans la fabrication de moteurs semblables, et c'est ce que firent de nombreux constructeurs qui étudièrent le moteur de Deutz, s'ingénièrent à le rendre plus économique en remplaçant le tiroir par des soupapes, en augmentant et la compression et la vitesse. De leurs études multiples naquirent les nombreux moteurs exposés en 1900 dont nous donnerons bientôt la description. Tous ces moteurs sont du type et consacrent le triomphe du moteur à quatre temps.

Cette revue des moteurs à gaz dans les diverses expositions universelles qui se sont succédé en France nous a montré en 1867 deux moteurs domestiques, l'Otto-Langen et le Lenoir. En 1878, six constructeurs exposent leurs produits, et la fabrique de Deutz, la première, présente un modèle réduit, régulier et économique, qui ouvre des horizons nouveaux à l'emploi des moteurs à gaz. En 1889, nous trouvons 31 exposants avec

53 moteurs de toute force depuis 1/4 de cheval jusqu'à 100 chevaux. Dès cette époque on peut dire que le moteur à gaz a fait ses preuves, son succès est désormais assuré; il se rapproche dans son emploi de la machine à vapeur et menace de se substituer à elle.

A l'Exposition de 1900 nous avons eu un moteur à un cylindre de 600 chevaux et un moteur à deux cylindres de 500 chevaux. Nous avons eu la preuve que l'on construit à l'heure actuelle des moteurs de 1,000 chevaux et nous avons acquis la conviction que cette puissance peut encore être dépassée.

Il est certain que les moteurs à gaz et à pétrole vont entrer dans une ère nouvelle, et s'il est peut-être encore téméraire de prétendre qu'ils détrôneront un jour la machine à vapeur, on peut affirmer avec assurance qu'ils tendront de plus en plus à se substituer à elle dans de nombreuses industries.

Il est également certain, et tout permet de supposer, que les progrès incessants, nombreux et rapides réalisés jusqu'à ce jour dans leur fabrication, continueront leur cours, et que l'emploi de ces moteurs est appelé dans un avenir prochain à prendre un développement que les prévisions les plus optimistes du passé ont été loin d'envisager.

Progrès réalisés dans la construction des moteurs à gaz et leurs causes. — Avant 1860, le moteur à gaz n'était pas sorti du domaine théorique. Entrevu depuis longtemps, inventé même, il fallait, comme l'a fort bien dit M. Witz, le faire marcher.

Ce fut le mérite de Lenoir.

Son premier moteur, construit en 1860, fonctionna et fournit la preuve irrécusable que le moteur à gaz était pratiquement réalisable.

Mais sa consommation de plus de 3 mètres cubes de gaz par cheval-heure était trop élevée. Il exigeait en outre des quantités d'eau considérables pour le refroidissement du cylindre et un ouvrier devait constamment arroser d'huile le piston s'il ne voulait pas voir le moteur d'abord se ralentir, puis s'arrêter.

Si le moteur marchait, il n'était pas pratique; son utilisation industrielle n'était pas possible et ses acheteurs durent le transformer en machine à vapeur pour ne pas être obligés de le vendre comme ferraille.

Ces mécomptes désillusionnèrent les industriels qui s'étaient engagés dans la construction de ce type de machines et jetèrent le plus grand discrédit sur cette invention. Il est à présumer que les constructeurs auraient été découragés pour longtemps si peu après MM. Otto et Langen n'avaient conçu et fabriqué le moteur qu'ils exposèrent pour la première fois en 1867.

Ce moteur fonctionnait régulièrement; sa consommation, qui atteignait au début 1,300 litres de gaz par cheval-heure, ne tarda pas à descendre à 800 litres. Son graissage s'effectuait normalement et pour sa conduite il n'était pas nécessaire d'avoir un ouvrier en permanence.

Dans ces conditions de fonctionnement, le moteur était pratiquement utilisable et pouvait remplacer avec avantage la machine à vapeur dans la petite industrie, qui exige

un moteur peu encombrant, d'entretien facile, d'un arrêt et d'une mise en marche pour ainsi dire instantanés.

Malheureusement, le bruit de son fonctionnement était un obstacle à son introduction dans les maisons habitées et le rendait par conséquent impropre à l'usage auquel il était spécialement destiné. D'autre part, sa faible puissance ne lui permettait pas d'être utilisé dans la grande industrie, et ces deux défauts réunis empêchèrent la généralisation de son emploi.

Ces défauts étaient inhérents au principe du moteur lui-même et les efforts de M. Gilles pour les corriger n'aboutirent qu'à une légère atténuation du bruit.

MM. Langen et Otto se rendirent rapidement compte de l'impossibilité de remédier à ces défauts. Jugeant que le moteur atmosphérique n'était pas susceptible de sérieux perfectionnements, ils cherchèrent résolument dans une autre voie le moteur de leur rêve. Leurs patientes études devaient être couronnées de succès; en 1876 et 1887 ils eurent le bonheur de pouvoir établir enfin le célèbre moteur qui devait faire en 1878 l'admiration de tous les connaisseurs.

Ce moteur, dont l'évolution est à quatre périodes, ce qui lui a valu le nom de moteur à quatre temps, a réalisé tous les perfectionnements que la pratique avait montré nécessaires. Sa marche silencieuse permet son installation dans les maisons habitées et facilite ainsi son emploi par le petit industriel, pour lequel l'atelier et le logement sont souvent une seule et même chose.

Son graissage automatique, la simplicité et la robustesse de son mécanisme, réduisent les soins de surveillance et les travaux d'entretien, au point de permettre la suppression du mécanicien.

Sa consommation de gaz, un peu inférieure à celle des moteurs atmosphériques, est une cause nouvelle d'économie. Enfin ce type de machine se prête à la construction de moteurs de toutes forces et la régularité de sa marche lui permet toutes les commandes, même celle des dynamos.

Les avantages réalisés par ce moteur étaient tels que dès son apparition son succès ne fit de doute pour personne, et des constructeurs en vue, notamment MM. Crossley frères en Angleterre, Fétu et Defize en Belgique, Sarrazin et Dehaynin en France, considèrent comme un honneur et un profit l'acquisition de licences pour l'exploitation du brevet Otto.

De 1878 à 1889 les moteurs à gaz ne réalisèrent au point de vue technique que peu de progrès. Les principaux perfectionnements dont ils furent l'objet portèrent uniquement sur des points de détail : les constructeurs s'efforcèrent surtout d'améliorer son rendement, de simplifier sa construction, de créer des types nouveaux pour des besoins nouveaux.

Cette période décennale fut surtout une période de vulgarisation. Grâce à une campagne de publicité intelligemment conduite, campagne rendue d'ailleurs facile par les mérites de l'invention, le public s'habitua à considérer le moteur à gaz comme le moteur universel, appelé à satisfaire tous les besoins, toutes les exigences. La petite industrie se

rendit compte qu'il était spécialement fait pour elle, et l'adopta d'une façon pour ainsi dire exclusive, tandis que la grande industrie elle-même, malgré la consommation élevée des moteurs plus puissants, ne dédaigna pas de les utiliser pour des forces allant jusqu'à 100 chevaux.

L'énorme développement que prit ainsi l'industrie des moteurs à gaz est intimement lié au développement de l'éclairage électrique.

Pendant longtemps cet éclairage fut assuré, à défaut de moteur hydraulique, par des moteurs à vapeur qui, par leur régularité et leur puissance, semblaient seuls convenir à ce genre de travail.

Mais le moteur à gaz, dont la destinée était de s'étendre à toutes les applications de l'industrie, fut essayé à son tour avec succès à la commande des dynamos et dès ce moment le moteur à vapeur eut en face de lui un adversaire qui vint concurrencer son emploi.

Toutefois, pour faciliter cette concurrence et lui donner des chances de succès, il était nécessaire de rendre plus régulier et plus économique le fonctionnement du nouveau moteur.

De nombreux constructeurs s'efforcèrent de réaliser les perfectionnements dont le besoin se faisait sentir, mais les résultats de leurs tentatives furent minimes. Un seul constructeur, Charron, réalisa un certain progrès en établissant un moteur un peu plus économique que l'Otto.

L'insuccès des efforts tendant à perfectionner le type du moteur détermina une nouvelle orientation dans les recherches des constructeurs. Ne pouvant réduire la quantité de gaz absorbée par le moteur, ils s'efforcèrent de diminuer le prix de ce gaz et c'est ainsi qu'ils furent amenés à l'alimentation des moteurs par un gaz spécial, non éclairant, qui joignait au mérite d'être moins coûteux que le gaz d'éclairage celui de pouvoir être fabriqué partout et à peu de frais.

Des essais furent faits dans cette voie postérieurement à 1878, mais ce ne fut qu'en 1889 qu'on vit pour la première fois un gazogène appliqué avec succès à l'alimentation d'un moteur Delamarre-Debouteville de la force de 75 chevaux et d'un moteur Otto de 20 chevaux.

L'Exposition de 1889 contribua puissamment au développement des moteurs à gaz.

Nous avons dit que 53 moteurs, représentant plus de 1,000 chevaux de force, avaient été groupés et fonctionnaient tous les jours sous les yeux d'un public émerveillé tant au gaz qu'au pétrole, fixes ou montés sur des locomobiles, des canots, des automobiles même. Cette exhibition fut la meilleure réponse qu'il était possible de faire aux critiques formulées jusqu'alors par les adversaires du nouveau moteur, dont le bon fonctionnement, la marche silencieuse et régulière, la facilité de conduite et d'entretien ne purent plus être mis en doute par personne.

On peut dire que c'est de cette époque que date la concurrence du moteur à gaz contre la machine à vapeur. Cette lutte entre deux adversaires dont les forces avaient cessé d'être disproportionnées, s'annonça dès le premier jour comme devant être très

vive. L'un et l'autre réunirent des partisans également chauds dans leur défense; l'un et l'autre eurent à répondre à des attaques également vives. Cette longue polémique qui s'engagea ainsi entre partis adverses ne fut pas au moins stérile dans ses résultats, puisqu'elle permit de constater que le moteur à gaz peut dans bien des cas remplacer avec avantage le moteur à vapeur.

Pour nous en convaincre, nous n'avons qu'à établir une comparaison sommaire entre la machine à vapeur et le moteur à gaz tels qu'ils se présentaient à l'Exposition; à nous rendre compte des progrès déjà réalisés par les uns et les autres et de ceux qu'il était possible de prévoir et d'espérer.

La machine à vapeur théoriquement est loin d'être parfaite, mais au cours de son siècle d'existence elle a été étudiée par de si éminents ingénieurs, elle a subi de telles améliorations, qu'on peut admettre qu'elle a atteint à ce jour son maximum de perfection et que si sa consommation peut encore être réduite, elle ne peut l'être que dans de bien faibles proportions.

Pour déterminer son rendement, admettons, ce qui est confirmé par la pratique, qu'une bonne et puissante machine à condensation, bien conduite, consomme un kilogramme de charbon correspondant à 8,500 calories pour produire un cheval-heure effectif.

En transformant en kilogrammètres la chaleur dégagée par ce kilogramme de charbon, nous constatons que le rendement de cette machine n'est pas supérieur à 7 1/2 p. 100, que par conséquent plus de 92 p. 100 de la chaleur dégagée ont été perdus en route sous des formes diverses.

Cette perte est énorme; elle est due à des causes multiples dont les principales sont les suivantes :

1° Combustion incomplète sur la grille de la chaudière : une partie du combustible passe dans les escarbilles ou part sous forme de fumée;

2° Mauvaise utilisation de la chaleur pour la vaporisation de l'eau : une partie est perdue par rayonnement, par conductibilité, ou est entraînée par les gaz chauds de la combustion;

3° Perte dans la conduite de vapeur par rayonnement, conductibilité et parfois condensation;

4° Perte par laminage de vapeur, détente incomplète, condensation dans le cylindre;

5° Perte par l'eau de condensation;

6° Perte par les résistances passives à vaincre, les frottements, etc.

Les deux premières causes de pertes, évaluées à 40 p. 100, doivent être attribuées au générateur de vapeur. Le rendement d'une bonne chaudière serait donc de 60 p. 100, c'est-à-dire que 60 p. 100 de la chaleur dégagée par le combustible passe dans le moteur, et puisqu'on récupère 7.50 p. 100 de cette chaleur sous forme de travail, le rendement thermique du moteur pris isolément doit être fixé à 12.50 p. 100.

Admettons même 13.50, chiffre qui correspond à un rendement de 8 p. 100 de la machine avec sa chaudière, ceci pour tenir compte du progrès possible que l'on peut

IMPRIMERIE NATIONALE.

encore réaliser, soit par l'emploi de chaudières à hautes pressions dont le rendement est supérieur à 60 p. 100, mais qui en pratique ont occasionné beaucoup de déboires; soit en surchauffant la vapeur, en augmentant sa température initiale et par conséquent la chute de température entre la chaudière et le condenseur, malgré les inconvénients que la pratique a dévoilés et qui ont fait renoncer à ce genre de machines.

En nous plaçant dans les conditions les plus favorables à la machine à vapeur, nous pouvons fixer à 8 p. 100 son rendement total et à 13.50 p. 100 celui du moteur seul.

Il nous reste à déterminer le rendement d'un moteur à gaz.

Nous prendrons comme exemple le moteur Otto qui en 1889 avait les faveurs du public. Un moteur de ce système, à distribution par tiroir, c'est-à-dire à compression relativement faible, consommait par cheval-heure effectif 600 à 700 litres de gaz d'éclairage d'un pouvoir calorifique de 5,250 calories. Son rendement, malgré les pertes importantes dont nous allons parler et qu'il était possible de réduire, était donc de 18 p. 100.

Il est vrai que ce moteur était alimenté par du gaz produit de la distillation du charbon et cette opération ne pouvait se faire évidemment sans perte.

Mais pour avoir une comparaison exacte, prenons un moteur à gaz alimenté par du gaz pauvre, par exemple du gaz Dowson.

On sait, et cela résulte de nombreuses expériences qui ont été faites depuis avec des installations de cette nature et avec moteur brûlant par cheval-heure 700 litres de gaz d'éclairage, qu'on peut produire le cheval effectif avec 600 grammes d'anthracite ou de charbon maigre, alors qu'il faut 1 kilogramme de bon charbon pour obtenir la même force avec une excellente machine à vapeur.

Le pouvoir calorifique de l'anthracite est peu différent de celui du charbon de chaudière, on doit conclure que le rendement thermique du moteur à gaz est de beaucoup supérieur à celui de la machine à vapeur, soit qu'on ne prenne en considération que les moteurs, soit qu'on tienne compte des pertes du générateur à gaz et du générateur à vapeur.

De plus, le moteur à gaz, né d'hier, est susceptible de perfectionnements, et de fait les progrès réalisés dans la construction de ces machines pendant ces dernières années ont été considérables.

Si nous recherchons les pertes de calorique dans la transformation en travail de la chaleur produite par la combustion du gaz, nous voyons que, comme dans la machine à vapeur, elles sont multiples. Nous citerons :

1° Le refroidissement du cylindre exigeant une circulation active d'eau froide qui, en s'échauffant, emporte un grand nombre de calories;

2° Les pertes par rayonnement;

3° Les pertes à l'échappement;

4° Les résistances passives à vaincre;

5° La perte par le travail de la pompe de circulation d'eau.

Ces deux dernières pertes sont relativement peu importantes; les résistances passives

sont en corrélation avec la bonne construction du moteur et le graissage du piston; elles sont donc très variables d'un système à un autre et varient même avec les moteurs du même système; elles sont plus importantes lorsqu'un moteur est neuf, car il est d'usage d'introduire de force le piston dans le cylindre et de le faire roder par le travail.

On peut évaluer ces deux pertes sur un bon moteur à 5 p. 100, alors qu'avec une bonne machine à vapeur elles sont inférieures à 3 p. 100.

La perte par rayonnement est aussi très variable; elle dépend de l'allure du moteur; si on marche à allure froide, c'est-à-dire si l'eau de circulation très abondante sort à une température inférieure à 60 degrés, ces pertes sont peu importantes; mais elles peuvent atteindre 10 p. 100 si, pour augmenter le rendement thermique, l'eau de circulation sort à une température élevée de 60 à 80 degrés.

Les pertes par l'eau de circulation et à l'échappement sont beaucoup plus importantes; ce sont celles qu'on peut diminuer pour augmenter le rendement du moteur.

MM. Slaby, Kedwel et Keller, à la suite d'essais faits sur un moteur Otto à tiroir et à glissière, ont évalué la perte par circulation d'eau à 50 p. 100 et celle à l'échappement à 32 et 28 p. 100.

M. Meyer, sur un moteur de 200 chevaux de même système mais plus perfectionné, avait trouvé 26 p. 100 de perte par circulation d'eau et 52 p. 100 à l'échappement.

M. Witz indique pour un moteur Niel à forte compression essayé en 1901 :

Perte par circulation d'eau, 21 p. 100;

Par décharge et rayonnement, 39 p. 100;

Par frottement, 14 p. 100;

Rendement thermique effectif, 25 p. 100.

La consommation de ce moteur n'était que de 439 litres de gaz à 5,664 calories par cheval-heure indiqué.

Un moteur Tangye à compression moins élevée lui a donné :

Perte par circulation, 35 p. 100;

Perte par décharge, 23 p. 100;

Perte par rayonnement, 4 p. 100;

Par résistance passive, 13.6 p. 100;

Utilisation en travail effectif, 23.9 p. 100.

Le même professeur, dans son remarquable ouvrage sur les moteurs à gaz, conclut ainsi :

« En somme, nous voyons les pertes par l'eau de circulation passer de 52 à 21.6 p. 10, tandis que le calorique emporté par les gaz monte de 15.5 à 54.8; on peut dire que dans une certaine mesure la somme de ces deux pertes ne varie guère, attendu qu'on perd généralement par les gaz ce qu'on regagne sur la paroi; toutefois, ce n'est pas toujours exact et les derniers moteurs réalisent évidemment un meilleur rendement thermique en portant moins de calories à la décharge en même temps qu'en réduisant

légèrement les pertes à la circulation. C'est le fruit des fortes compressions de mélanges pauvres suivies d'une longue détente. »

C'est en effet par les fortes compressions qu'on a pu réduire la consommation en gaz des moteurs et augmenter leur rendement thermique; les deux exemples que nous venons de citer, celui du moteur Niel et du moteur Tangye, sont typiques, le rendement du Niel à forte compression a été de 25.5 p. 100, celui du Tangye de 23.9 p. 100 avec une compression un peu moindre, mais cependant de $5^k 4$.

Ce progrès a été réalisé à la suite de l'Exposition de 1889, après l'expiration des brevets Otto survenue en 1890.

A ce moment tous les constructeurs ont pu sans crainte adopter le cycle à quatre temps et s'inspirer du moteur Otto dont ils ont simplement modifié quelques organes.

La principale et la plus importante de ces modifications a été le remplacement du tiroir par des soupapes.

Le tiroir, par son mode d'attache, ne se prêtait pas aux compressions élevées; la soupape a permis de les réaliser, et comme la pression au moment de l'explosion est en relation directe avec la compression, qu'à une pression explosive plus forte correspond une température plus élevée dans le cylindre, on a dû augmenter la vitesse du piston pour ne pas s'exposer à des grippages inévitables surtout avec la qualité des huiles qu'on employait à cette époque.

La conséquence de ces plus grandes vitesses a été la suppression de la glissière, d'où les moteurs actuels, plus courts, plus ramassés, plus légers, donnant pour le même diamètre de piston et la même course une force plus grande, ce qui se traduit commercialement par une baisse possible de prix.

Signalons encore la substitution au tiroir d'allumage des magnétos ou des brûleurs métalliques ou mieux en porcelaine.

A la suite de ces perfectionnements, la consommation des moteurs est tombée de 600 ou 700 litres à 500 ou 600 litres suivant la force du moteur, son rendement organique et son degré de compression.

Cette réduction importante de consommation a permis d'augmenter leur puissance et facilite leur emploi dans nombre d'installations, surtout dans celles à marche continue.

Il paraît par trop évident que pour des marches continues et de durée prolongée, sauf dans des cas spéciaux, l'emploi de gros moteurs à gaz, même à rendement thermique élevé, n'était pas à recommander avec du gaz d'éclairage à 40 ou 30 centimes le mètre cube.

Dans ces conditions, ces moteurs ne pouvaient être économiques. Ils ne purent le devenir que lorsque le prix du gaz d'éclairage eut baissé par suite d'accord avec les sociétés gazières qui se préoccupaient vivement de la concurrence que commençait à leur faire l'électricité, et surtout lorsqu'on substitua au gaz d'éclairage le gaz pauvre, d'un prix de revient peu élevé.

Quelques tentatives dans ce sens avaient été faites avant 1889; ce n'est cependant que dans ces dernières années que cette industrie a pris une grande extension.

Le Dowson a été le premier générateur appliqué. De nombreuses installations ont été faites avec cet appareil.

Plus nombreuses en France ont été les installations faites, par un constructeur de Rouen, avec un moteur que nous retrouvons tout à l'heure et l'appareil La Buire-Lencauchez.

Malgré les insuccès du début, les industriels ne se sont pas découragés, et aujourd'hui les installations de moteurs à gaz avec gazogènes Dowson, Fichet-Heurtey, Pierson, Otto, Riché, sont très répandues.

On sait que ces appareils permettent de produire le cheval-heure avec 500 à 600 grammes et même, dit-on, moins d'anthracite ou de charbon maigre.

Malheureusement, l'emploi de ces gazogènes est limité au coke ou à ces deux natures de combustibles. On ne peut utiliser les charbons ordinaires faute de ne pouvoir retenir le goudron qui vient coller après les soupapes du moteur et arrêter son fonctionnement. Le jour où l'on pourra, dans ces appareils, brûler toutes les qualités de houille, la prédominance du moteur à gaz sur la machine à vapeur sera un fait acquis.

Les gazogènes que nous venons de citer, étant d'un prix relativement élevé, ne peuvent être employés qu'avec des moteurs puissants; pour les rendre applicables aux petits moteurs, on a dû chercher à rendre leurs installations moins coûteuses en supprimant tous les épurateurs qui accompagnent le générateur, ou tout au moins en les réduisant à leur plus simple expression.

Ces nouveaux générateurs, dits à aspiration, puisque le moteur aspire le gaz à chaque période d'aspiration, sont des plus simples, des plus pratiques et contribuent considérablement à l'extension des moteurs à gaz de faible puissance. Ils sont pratiquement peu antérieurs à 1900. Le premier en date est le Taylor.

Dans ces derniers temps, on est même parvenu à appliquer ces générateurs par aspiration d'un prix très réduit à des moteurs de 100 chevaux et plus. Ce perfectionnement a permis de réduire le coût d'installation d'une force motrice au gaz pauvre au point de le rendre inférieur à celui d'une force semblable avec machine et chaudière à vapeur.

Mais on a été encore plus loin dans cette voie de perfectionnements et de progrès, puisque, non contents d'avoir abaissé le coût de la production du gaz par l'emploi de gazogènes économiques, les inventeurs ont été assez heureux pour trouver le moyen de réduire à zéro ces frais de production.

Il existe, en effet, dans l'industrie un gaz qui ne coûte rien, qu'on a en abondance, qu'autrefois on laissait échapper dans l'atmosphère au détriment de la santé publique, que plus tard on a capté pour l'utiliser en partie à la production de la vapeur qu'exigeaient les machines soufflantes : nous voulons parler des gaz de hauts fourneaux, sur les applications desquels nous devons nous étendre un peu plus longuement, autant à cause de la nouveauté de leurs découvertes, que des services incalculables qu'elles sont appelées à rendre à l'industrie en général et à la métallurgie en particulier.

Dans un travail remarquable, publié dans les *Annales des mines de Liège*, M. Hubert,

membre du jury de la Classe 20 à l'Exposition de 1900, a établi qu'un haut fourneau dégage par tonne de fonte produite :

Azote	2,757 kilogr.
Acide carbonique	767
Oxyde de carbone	1,534
Hydrogène provenant de l'humidité de l'air	3
Vapeur d'eau non décomposée	388

soit en tout 3,450 kilogrammes de gaz ayant la composition suivante :

	POUR 100.
Azote	50.12 en poids.
Acide carbonique	13.95
Oxyde de carbone	27.90
Hydrogène et carbures	1.02
Vapeur d'eau	7.01
TOTAL	100.00

Le kilogramme de ce gaz donnait environ 820 calories, son poids spécifique étant à 0 degré et à la pression de 760 de 1 kilog. 222; son pouvoir calorifique par mètre cube était de 1,166 calories après condensation de la vapeur d'eau.

M. Witz, qui a été appelé un grand nombre de fois à déterminer le pouvoir calorifique des gaz de hauts fourneaux, admet un pouvoir moyen un peu inférieur à 1,000 calories.

Ces gaz sont donc bien moins riches que ceux des gazogènes, dont le pouvoir calorifique peut être évalué de 1,400 à 1,500 calories, si le gazogène est à injection de vapeur, et de 1,200 à 1,300 calories s'il est à vent soufflé par ventilateur.

De plus, ils entraînent avec eux de grandes quantités de poussières très ténues qui viennent obstruer les conduites et se coller sur les parois des chaudières en nuisant à leur rendement et à leur durée.

C'est vers 1895 qu'on eut l'idée d'utiliser à l'alimentation des moteurs le gaz de hauts fourneaux; des expériences furent tentées presque simultanément en Allemagne, en Angleterre et en Belgique. Nous ne rechercherons pas à qui revient le mérite de cette idée, nous nous contenterons de constater avec M. Witz qu'elle fit rapidement son chemin.

Les expériences faites en Angleterre portèrent sur des moteurs Otto et Acmé, de 10 à 20 chevaux. Le gaz, en traversant un scruber à coke et un filtre sec, abandonnait ses poussières et arrivait au moteur suffisamment épuré pour ne pas nuire à son bon fonctionnement.

Les résultats furent très satisfaisants; la marche des moteurs était si régulière qu'on put actionner une dynamo et assurer un service d'éclairage électrique.

Le moteur consommait 3,200 litres de gaz par cheval-heure effectif.

Les résultats de l'usine de Hœrde, en Allemagne furent tenus cachés; on sait seulement qu'après de nombreuses expériences sur un petit moteur à deux temps de M. Von OEchelhæuser, cette Société remit commande à cet inventeur de deux moteurs de 300 chevaux chacun.

Le gaz était soigneusement épuré dans une longue suite d'énormes conduites à chicanes probablement suivies de scrubers et de filtres à sec. L'installation devait être fort coûteuse, mais donna de bons résultats.

En Belgique, à la suite d'un essai fait sur un moteur Simplex de 4 chevaux, alimenté par des gaz de hauts fourneaux, sans épuration préalable après simple refroidissement, la Société Cockerill demanda à M. Delamare-Deboutteville les plans d'un moteur de 150 chevaux.

Ce moteur, mis en marche en 1898, fut accouplé à un compresseur d'air et marcha dans des conditions parfaites de régularité, développant 181 chevaux de force avec une consommation de 3,300 litres de gaz non épuré par cheval-heure effectif.

M. Witz fut chargé de contrôler les résultats. Les conclusions de son rapport méritent d'être citées :

« En somme, dit le savant professeur, la Société Cockerill possède un moteur de 200 chevaux qui lui donne le cheval-heure effectif pour trois mètres cubes et demi environ de gaz de ses hauts fourneaux, en consommant par heure et par cheval près de 100 litres d'eau et moins de 10 grammes d'huile et de graisse; sa marche est aussi régulière que celle d'une machine à vapeur et les poussières du gaz ne nuisent en rien à son fonctionnement. »

Ces résultats, vérifiés par nombre d'ingénieurs, valurent à la Société Cockerill d'importantes commandes, et, dès le début de l'Exposition, deux ans après la mise en marche du moteur de 200 chevaux, avant même la mise en marche de celui de 600 chevaux qu'elle avait étudié pour être attelé à son type de machine soufflante, elle avait inscrit sur ses livres 71 commandes de moteurs semblables à celui exposé.

Les dimensions colossales de ce dernier moteur devaient fixer sur lui, pendant toute la durée de l'Exposition, l'attention du gros public, tandis que sa construction bien étudiée, sa marche régulière, son rendement économique étaient l'objet de commentaires élogieux de la part des ingénieurs et des industriels.

Rappelons les principales dimensions de cette belle machine :

Diamètre du piston	1 m. 300
Course	1 m. 400
Diamètre du volant	5 mètres.
Poids du volant	33 tonnes.
Poids total du moteur	127 tonnes.
Nombre de révolutions	94
Puissance maxima	734 chevaux.
Consommation en gaz en pleine charge par cheval-heure effectif.	2,725 litres.
Consommation d'eau par cheval-heure	50 litres.

L'économie que permet de réaliser l'emploi de ce moteur est énorme.

M. Hubert a évalué à 8,000 mètres cubes par heure le gaz engendré par un haut fourneau de 100 tonnes par jour; le pouvoir calorifique de ce gaz étant environ de 1,000 calories, le nombre de calories s'échappant de ce haut fourneau par heure peut être chiffré à 8,000,000 de calories correspondant à $8,000,000 \times 425 = 3,400,000,000$ kilogrammètres ou à $\frac{3,400,000,000}{270,000} = 12,592$ chevaux-vapeur, le cheval-vapeur-heure étant représenté par $75 \times 60 \times 60 = 270,000$ kilogrammètres.

Le rendement d'un moteur étant en général supérieur à 20 p. 100, on voit qu'en brûlant tous ces gaz dans des moteurs on obtiendra par heure une puissance totale de $12,592 \times \frac{20}{100} = 2,518$ chevaux.

C'est le chiffre indiqué par MM. Hubert et Witz, qui ont fait de nombreux essais sur ces moteurs et ont relevé des consommations d'environ 3 mètres cubes par cheval-heure, soit pour les 8,000 mètres cubes de gaz $\frac{8,000}{3} = 2,600$ chevaux.

En brûlant cette même quantité de gaz dans des chaudières, on n'obtient guère plus de 1,200 chevaux, chiffre donné et par le calcul et par la pratique.

La différence : 1,300 chevaux, représente donc le bénéfice que le moteur à gaz permet d'obtenir et ce bénéfice se traduit par une diminution du prix de revient de la tonne de fonte de plus de 5 francs.

L'utilisation directe des gaz des hauts fourneaux par le moteur à gaz est une véritable révolution d'économie industrielle dont les résultats sont incalculables, et le mérite de ceux qui l'ont réalisée est d'autant plus grand que leurs premiers pas dans cette voie furent remplis de difficultés et de déboires.

Les études de ces moteurs ont été fort onéreuses. Le gaz de hauts fourneaux ayant moins de 1,000 calories ne se comporte pas comme le gaz d'éclairage ou même le gaz pauvre de gazogène; il entraîne de plus avec lui, comme nous l'avons dit, des quantités considérables de poussières très ténues qui viennent obstruer les soupapes et produisent des grippages toujours dangereux avec des machines aussi puissantes. Il était donc indispensable de le débarrasser de tous ces corps étrangers pour le rendre utilisable dans un moteur.

Les installations nécessaires pour arriver à ce résultat paraissaient devoir être très coûteuses, et l'auraient été en effet si on n'était pas parvenu à réaliser cette épuration par un procédé de mécanique des plus simples, consistant à projeter le gaz contre les parois humides d'un tambour animé d'une grande vitesse de rotation, ce qui oblige les poussières à se coller contre ces parois. Tel est le procédé qui a été préconisé en Allemagne par l'inventeur, M. Theisen, après essais à l'usine de Hoerde.

En France, à Micheville, on a obtenu un résultat encore meilleur en faisant passer le gaz dans un ventilateur à injection d'eau; le gaz est projeté violemment contre l'enveloppe, les poussières se détachent par ce choc brusque et s'échappent à l'état de boue par un siphon.

L'épuration des gaz ainsi assurée, le fonctionnement du moteur ne laisse rien à désirer, il est aussi parfait et aussi régulier que celui d'une bonne machine à vapeur, si toutefois ce moteur a été calculé et étudié en conséquence.

Il est en effet évident que le moteur monocylindrique ne peut donner une régularité aussi parfaite que le polycylindrique qu'en augmentant le poids du volant, et que, dès lors, le monocylindrique, à régularité égale, doit coûter plus cher que le moteur à plusieurs cylindres, puisque sa régularité n'est acquise que grâce à une augmentation de la puissance du volant et, par voie de conséquence, de ses principaux organes.

Ce sont précisément les reproches que l'on pourrait faire au moteur de la Société Cockerill s'il n'était étudié pour l'usage spécial de la commande d'une machine soufflante d'un type déterminé exigeant plus de force que de régularité.

Les moteurs à 2, 3 ou 4 cylindres conviennent mieux pour les stations centrales d'électricité à établir près des hauts fourneaux pour distribuer la force sous forme de courant. Le moteur Otto répond bien à cet usage, il est très répandu en Allemagne; plusieurs installations en ont été faites en France.

Mais l'épuration du gaz de hauts fourneaux n'est pas la seule difficulté qu'aient eu à vaincre les ingénieurs : même épuré, ce gaz ne pouvait être utilisé dans le moteur ordinaire, et il a été nécessaire de faire subir à celui-ci des modifications importantes pour l'adapter à son usage.

C'est ainsi par exemple que ce gaz étant moins riche, il a fallu augmenter la compression et par suite le refroidissement des soupapes et de la culasse; l'allumage se fait en général par bougies électriques; les conduites, les soupapes d'admission et d'échappement ont dû être largement calculées.

De plus, avec des moteurs aussi puissants, les appareils de mise en marche s'imposaient; Cockerill a adopté le treuil pour comprimer le mélange et amener le volant au point mort, tandis que les moteurs Otto sont mis en route avec de l'air comprimé dans un réservoir séparé.

Les divers moteurs dont nous venons de nous entretenir sont alimentés par des produits de la distillation ou de la combustion de la houille : gaz d'éclairage, gaz pauvre, gaz de hauts fourneaux. Il existe d'autres combustibles qui peuvent être utilisés dans ces mêmes moteurs.

Moteurs à essence. — L'essence de pétrole ou gazoline a été depuis longtemps employée à cet usage. Très volatile lorsqu'elle est pure, sa combinaison avec l'air constitue un mélange détonant présentant les propriétés du gaz d'éclairage carburé.

Plusieurs moteurs, à l'Exposition de 1889, fonctionnaient avec de l'air carburé par la gazoline; nous citerons notamment les moteurs Otto, Durand, Daimler, Lenoir, mais ils étaient encore peu répandus et ce n'est que dans la période décennale précédant l'Exposition de 1900 qu'ils ont pris un énorme développement.

Ces moteurs, en 1889 et dans les premières années qui suivirent, étaient surtout

employés à la campagne et dans les petites villes non encore dotées d'une usine à gaz. Le prix de la gazoline à cette époque était trop élevé pour permettre leur utilisation dans les villes éclairées au gaz; ils servaient à l'élévation des eaux, à l'éclairage électrique de quelques châteaux, ils actionnaient des métiers à tisser, des appareils à eau de Seltz. En général leur application se trouvait surtout dans la petite industrie.

Ces moteurs ne différaient des moteurs à gaz que par l'adjonction d'un appareil où l'air, amené en contact avec la gazoline, venait se carburer. Le carburateur est, peut-on dire, le cœur du moteur à pétrole; c'est dans cet organe que s'opère le mélange gazeux dont l'explosion animera le moteur. Retracer l'histoire du carburateur, c'est donc retracer l'histoire du moteur à pétrole lui-même.

L'un des premiers carburateurs pratiques, celui de Lenoir, était composé d'un tambour tournant muni de cloisons perforées remplies d'étoupe imbibée d'essence; l'air, en traversant ces cloisons, se chargeait d'hydrocarbure et était aspiré par le moteur; plus tard l'étoupe fut supprimée et remplacée par des augets créant une pluie d'essence dans le réservoir tournant. De même que Forest, qui obtenait ce résultat en faisant tourner une brosse dans un réservoir cylindrique où se trouvait de l'essence à la partie inférieure.

Dans le carburateur Delamare-Debouteville, l'essence et une certaine quantité d'eau de circulation du moteur tombent sur une brosse en crins de forme hélicoïdale; l'eau chaude favorise la vaporisation de la gazoline; le mélange d'eau et d'essence passe dans un réservoir qui se vide par la partie inférieure; l'essence surnage et ne se perd pas.

Le carburateur Otto est très simple et très pratique; l'air, préalablement divisé par un disque perforé, est aspiré par le piston et vient lécher la surface de la gazoline contenue dans un récipient à double parois, chauffé soit par l'eau de circulation du moteur, soit par les gaz d'échappement. Cet air se carbure ainsi au contact de la gazoline et arrive au moteur.

Les carburateurs Durand et Daimler étaient à barbotage, la hauteur de liquide traversée était réglée par un flotteur qui descendait avec le liquide et portait la prise d'air à carburer.

Ces carburateurs étaient appliqués à des moteurs industriels en tout semblables aux moteurs à gaz; cependant l'allumage se faisait de préférence avec une bougie électrique pour diminuer les causes d'incendie et d'explosion.

Après 1889, les moteurs à essence utilisés dans l'industrie ont bénéficié des progrès réalisés par le moteur à gaz, ils se sont multipliés en même temps que lui; le seul obstacle à leur développement a été le prix de la gazoline toujours assez élevé et les dangers que présente son emploi.

Cependant, en chauffant l'essence, notamment avec les gaz d'échappement, on est parvenu à employer des essences plus lourdes, pesant jusqu'à 750, par conséquent un peu moins chères, offrant surtout moins de dangers dans la manipulation.

Deux grands progrès sont venus donner dans ces dix dernières années un développe-

ment considérable à l'emploi de ces moteurs, nous voulons parler de leur application à la locomobile et à l'automobile.

Les locomobiles à pétrole se répandent beaucoup dans l'agriculture et rendent de très grands services; elles n'offrent aucun danger d'explosion, sont faciles à conduire, toujours prêtes à être mises en marche et exigent moins d'eau que les locomobiles à vapeur : elles présentent donc sur cette dernière de très grands avantages.

Elles sont d'ailleurs plus légères et emploient un combustible moins lourd et d'un transport plus facile; il ne faut en effet que 300 à 400 grammes d'essence par cheval-heure effectif, tandis que la machine à vapeur de la locomobile consume de 3 à 4 kilogrammes de charbon par cheval-heure, soit 10 fois plus. Cet avantage est surtout appréciable dans les pays montagneux, éloignés du chemin de fer, et puis il faut de bonne eau, en assez grande quantité, alors que le moteur emploie toujours la même et sans se soucier si elle est calcaire, vaseuse ou non.

Ces locomobiles sont utilisées pour le battage, les irrigations, les épuisements, l'éclairage électrique provisoire, les forains, etc.

Mais c'est dans l'automobilisme que le moteur à essence a trouvé l'application la plus importante.

Si l'on peut faire remonter à Bacon l'invention des voitures automobiles, si les Cugnot, les Watt, les Haucock, les Gurney, Les Lenoir l'étudièrent, l'améliorèrent, le dernier en employant le moteur à essence, ce n'est en réalité qu'après 1890 que leur application est devenue courante et pratique, et il faut en réserver le mérite aux Bollée, aux De Dion-Bonton, aux Serpollet, aux Benz, aux Daimler et aux Levassor, dont les trois derniers ont exclusivement employé le moteur à explosion, qui finalement a détrôné tous les autres.

De 1890 à 1900, la voiture automobile a subi de nombreuses transformations que nous n'avons pas l'intention de décrire; nous indiquerons seules les modifications principales apportées à son moteur.

C'est le moteur ordinaire à quatre temps qui a été adopté. Il est à 1, 2 ou 4 cylindres. Mais il a été nécessaire, pour diminuer le poids et l'encombrement, de réduire les dimensions de ses organes au strict nécessaire et d'augmenter considérablement sa vitesse.

C'est ainsi qu'on est arrivé à faire tourner ces moteurs à 2,000 tours et même plus; cependant la vitesse de ceux adaptés aux voitures les plus connues ne dépasse pas normalement 1,800 et est souvent limitée à 750 tours.

Dans le Phénix, un des moteurs les plus appréciés, les soupapes d'admission sont automatiques, celles d'échappement sont commandées.

La régularisation s'opère par suppression de l'échappement.

Le carburateur se compose de deux parties : d'un régulateur à niveau constant dans lequel un flotteur équilibré commande un obturateur, et d'un diffuseur constituant l'appareil de carburation proprement dit. Le liquide est aspiré à chaque coup de piston et sort par un orifice de quelques dixièmes de millimètre en face duquel se trouve une

surface conique et striée. On peut régler à volonté l'appel d'air qui s'effectue à travers ce jet. L'allumage se fait par un brûleur; mais dans la suite, la maison Panhard et Levassor a adopté l'électricité.

On peut accoupler deux moteurs à deux cylindres pour équilibrer le mouvement et réduire au minimum les trépidations fort désagréables des automobiles.

Les moteurs d'automobiles sont très nombreux, nous ne les décrirons pas; d'ailleurs peu avaient pris place dans la Classe 20; et au titre surtout de moteurs légers pour applications spéciales : l'éclairage électrique par exemple. Il nous suffit de constater que l'industrie, nous dirons française, de l'automobilisme doit son développement et sa prospérité au moteur à pétrole.

Nous avons signalé les dangers que présentent la gazoline et toutes les essences émettant des vapeurs inflammables même au-dessous de 0°. Pour diminuer les causes d'incendie que présente l'utilisation de la gazoline, on a fait des mélanges d'essences diverses donnant une densité comprise entre 700 et 750 et moins inflammables que les éthers-gazolines plus légères. Nous avons dit par quel procédé on était parvenu à utiliser ces essences.

Moteurs à pétrole. — Il paraissait logique de chercher à remplacer l'essence par l'huile de pétrole, dit pétrole lampant, dont la manipulation n'offre aucun danger et dont le prix est moins élevé.

Deux moteurs à huile de pétrole étaient exposés en 1889, et ce n'est qu'après cette date que leur usage s'est réellement propagé.

Le pétrole lampant se compose de tous les produits qui distillent à une température comprise entre 150 et 275°, sa densité varie de 750 à 850, il ne doit s'enflammer qu'à une température supérieure à 35°.

Le pouvoir calorifique est très variable; il dépend de la provenance. Ringelmann a trouvé, pour les pétroles commerciaux employés au concours de Meaux, 11,040 calories; mais en général les pétroles du commerce ont un pouvoir un peu inférieur qu'on peut évaluer à 10,800.

De ces données il résulte qu'on peut vaporiser le pétrole en le portant à une température supérieure à 275°, et à cet état il agit comme un combustible gazeux.

Le moteur à pétrole ne diffère donc du moteur à gaz que par son vaporisateur ou son pulvérisateur, de même que le carburateur constitue la seule différence entre le moteur à essence et le moteur à gaz.

L'allumage se fait généralement par brûleur.

Tous les perfectionnements ont porté sur le vaporisateur; nous ne les décrirons pas.

Le moteur à pétrole est appelé à supplanter le moteur à essence comme moteur industriel; il tend à se répandre dans les campagnes malgré son entretien rendu plus difficile par les dépôts de charbon résultant de la décomposition du pétrole lors de la vaporisation qui nuisent à son fonctionnement.

Il est à présumer qu'avant peu d'années la plupart des locomobiles comporteront un moteur à pétrole lampant.

Moteurs à alcool. — Dans ces dernières années on a cherché à utiliser l'alcool à l'alimentation des moteurs malgré son prix élevé et son pouvoir calorifique assez faible.

Ce pouvoir ne dépasse pas 6,500, alors que celui des essences est supérieur à 11,000 et que celui du pétrole s'approche de ce chiffre; la consommation d'un moteur alimenté à l'alcool doit donc être supérieure à celui du même moteur fonctionnant à l'essence de pétrole; c'est ce que l'expérience a démontré.

Néanmoins, l'expérience était utile à faire: elle a prouvé que les moteurs, une fois en marche, peuvent bien fonctionner à l'alcool, mais que si on ne dispose pas d'un bon carburateur il est nécessaire d'effectuer la mise en marche à la gazoline ou en chauffant l'alcool.

La consommation relevée par M. Ringelman a été de 1,396 grammes avec le moteur Brouhot et de 763 avec le Benz.

Depuis, ces consommations ont été considérablement réduites et sont passées à 340 grammes d'alcool pur pour le moteur Brouhot. Un moteur Otto de 12 chevaux n'a consommé que 365 grammes d'alcool à 86°.

Ces résultats sont dus à une meilleure utilisation de l'alcool, à une composition du mélange tonnant plus rationnelle, à un brassage plus énergique du mélange et à une compression plus élevée que celle qu'on pratique avec la gazoline. Enfin l'usage s'est généralisé de chauffer au préalable le mélange pour éviter toute condensation d'alcool ou d'eau, ou de bien le pulvériser.

Ces perfectionnements successifs, réalisés vers 1900 pour les moteurs à alcool, sont identiques à ceux qui avaient déjà permis d'obtenir le rendement très élevé des moteurs à gaz. Il est certain qu'ils contribueront puissamment à étendre l'emploi des moteurs à alcool, lorsque le prix de l'alcool industriel aura baissé, ou lorsque industriellement on sera parvenu à le fabriquer par synthèse.

Les moteurs à alcool ont été appliqués à l'automobilisme. Généralement on mélange l'alcool avec de la benzine, et ainsi carburé il a donné d'excellents résultats. Le meilleur mélange paraît être celui correspondant à 18 p. 100 de benzine.

Le carburateur est un complément indispensable de ces moteurs; les carburateurs les plus employés en France sont ceux de Longuemarre, Martha, Japy, Brouhot. L'Exposition de 1900 ne montrait qu'un seul moteur à alcool, fonctionnant d'une façon satisfaisante et économique du reste, celui de Kœrting, dont nous parlerons en détail lorsqu'il s'agira de cette marque. Le carburateur Martha fut aussi présenté monté sur une automobile de Diétrich.

Nous avons tenu à donner quelques renseignements sur les moteurs à alcool qui, nés dans la période décennale qui a précédé l'Exposition de 1900, sont appelés, croyons-nous, à rendre des services à l'agriculture et à l'industrie des moteurs à gaz.

Moteurs à acétylène. — Aucun moteur à acétylène n'était exposé dans la Classe 20; cependant, comme plusieurs applications de ces moteurs ont été faites avant 1900, nous devons les signaler.

Le gaz acétylène a un pouvoir calorifique de 14,340 calories par mètre cube; il forme avec l'air un mélange tonnant et peut même exploser sans contact avec l'air.

L'explosion est très brisante, et pour éviter ces brusques chocs on est amené à faire des mélanges pauvres, c'est-à-dire avec excès d'air.

Nous avons relevé sur un moteur Otto des consommations inférieures à 200 litres par cheval-heure effectif en marche courante et régulière, mais ces consommations sont encore trop élevées au prix actuel de l'acétylène pour permettre l'emploi de ces moteurs, sauf dans des conditions spéciales.

On a proposé d'enrichir les gaz pauvres par adjonction d'acétylène, mais ces gaz faisant facilement explosion, cette carburation nous paraît bien inutile.

Moteurs à combustion. — Il nous reste à mentionner une invention de ces dix dernières années, qui a eu un grand retentissement industriel et qui peut être appelée à révolutionner l'industrie des moteurs à gaz et à pétrole.

Nous voulons parler du moteur Diesel, qui, exposé par trois sociétés dont deux hors concours, a fait obtenir à la troisième la plus haute récompense décernée par le Jury, un grand prix.

Le moteur Diesel, incontestablement le plus remarquable de tous ceux exposés dans la Classe 20, nous pouvons même dire dans le Groupe IV dont la Classe 20 faisait partie, est basé sur un principe nouveau, sur une idée géniale féconde en résultats.

En cherchant le moyen de réaliser pratiquement un cycle moteur dans lequel l'addition de chaleur à l'agent moteur ne donnât lieu à aucun travail moléculaire interne, mais seulement à du travail mécanique externe, afin d'obtenir le maximum de travail par rapport au calorique dépensé, M. Diesel a été amené à demander la solution de l'utilisation maxima de la chaleur à la combustion directe.

De tous les cycles, celui à quatre temps réalisait le rendement le plus élevé, et c'est en voulant le perfectionner que l'idée lui vint de comprimer l'air carburant dans le cylindre à des pressions élevées suivant une loi déterminée par l'expérience, telle que la combustion se fasse au fur et à mesure de l'injection, sans délai et totalement.

Il a pu réaliser de la sorte, sans danger, sans difficulté, des compressions élevées, et, en les faisant dans le cylindre même, éviter les pertes et les refroidissements des compressions à part employées dans les moteurs à deux temps.

La compression de l'air dégageant de la chaleur, M. Diesel a eu l'idée très remarquable d'utiliser cette chaleur à l'inflammation du combustible au fur et à mesure de son injection dans le carburant.

Il a résumé ses idées dans les trois principes suivants :

1° La température de combustion ne doit pas être produite par la combustion elle-

même, mais pendant cette combustion; elle doit être atteinte préalablement et indépendamment d'elle par une compression mécanique;

2° Le combustible doit être amené graduellement dans cet air élevé à la température de combustion par compression, de sorte que toute la quantité de chaleur dégagée soit immédiatement consommée, dans toute la mesure possible, par une détente correspondante; c'est ainsi, en effet, que le calorique ne sera pas transformé en travail interne moléculaire (élévation de température), mais uniquement en travail externe mécanique;

3° On doit employer un grand excès d'air, à déterminer, pour chaque cas spécial, par le calcul.

Ces principes sont réalisés dans le cycle à quatre temps ainsi modifié :

1er temps. — Descente du piston, aspiration dans le cylindre de l'air atmosphérique;

2e temps. — Course ascendante du piston, compression de cet air à environ 40 atmosphères en produisant une température supérieure à la température d'inflammation du combustible, avant la combustion et indépendamment d'elle;

3e temps. — Seconde course descendante du piston, ou course motrice proprement dite. Introduction graduelle du combustible par un ajutage dans cet air chauffé au rouge, pendant une période d'admission déterminée, et combustion lente de ce combustible pendant une partie de la course du piston, suivant une courbe de combustion qui varie avec la charge de la machine, depuis l'isothermique jusqu'à la pression constante; ensuite arrêt dans l'introduction du combustible et détente des gaz combinés;

4e temps. — Seconde course ascendante du piston; échappement des gaz brûlés par la soupape.

Nous venons d'indiquer des pressions de 40 atmosphères; elles s'appliquent à l'emploi de l'huile de pétrole comme combustible, ce moteur étant le seul encore réalisé industriellement; mais pour la combustion directe de la poussière du charbon, point de départ des recherches de M. Diesel, on devait comprimer à 250 atmosphères.

Pour l'insuflation du pétrole dans l'air carburant comprimé, on emploie de l'air comprimé à 45 atmosphères par une petite pompe mue par le moteur; c'est cet air qui sert également à la mise en marche.

Ce moteur, qui a marché quelques instants avec de la poussière de charbon, peut être alimenté avec tous les pétroles, depuis les gazolines de 650 de densité jusqu'aux massuts de 900 de densité; on peut brûler aussi les huiles de schistes, et avec toutes ces matières la combustion est parfaite.

Le rendement est donc très élevé, bien supérieur à celui du moteur à gaz; la consommation par cheval-heure est très faible; elle a été trouvée, dans les essais faits avant l'Exposition, de 238 grammes de pétrole en pleine charge et de 276 grammes à

demi-charge; depuis, elle a été réduite sensiblement et ne dépasse pas 200 grammes d'huile de pétrole d'un pouvoir calorifique de 10,000 calories.

Cette consommation est inférieure à celle des autres moteurs. Ajoutons que le Diesel est aussi économique à demi-charge qu'en pleine charge, tandis que la consommation des autres moteurs par cheval-heure augmente considérablement lorsque la force développée diminue.

Le moteur Diesel a eu, dans ces dernières années, de très nombreuses applications, surtout dans les pays où le pétrole est bon marché; il a été simplifié et perfectionné; son prix de revient et par suite son prix de vente ont diminué très sensiblement.

En France, la marine l'a adopté pour les sous-marins; il se prête bien à la navigation et aux services accessoires sur les navires; il pourrait avantageusement être utilisé sur des automotrices et sera par excellence le moteur des automobiles lorsque son poids aura été réduit pour cet usage.

On peut entrevoir dans un avenir peu éloigné des moteurs de grandes puissances; nous n'osons pas dire que dans quelques années le Diesel ou les moteurs à combustion auront supplanté la machine à vapeur sur les navires, il n'est cependant pas téméraire de le prévoir.

C'est par le moteur Diesel, par la plus grande invention réalisée dans ces dernières années, que nous terminerons la partie de notre rapport relative aux progrès accomplis depuis 1889 dans l'industrie des moteurs à gaz et à pétrole.

Résumé — Pour mieux faire saisir l'importance de ces progrès pendant ces dix dernières années et le développement considérable des moteurs thermiques, nous les résumerons en quelques lignes :

Les hautes compressions ont permis de réduire considérablement la consommation des moteurs à gaz; les consommations de plus en plus réduites ont facilité le placement de moteurs de plus en plus puissants.

Pour alimenter les moteurs à gaz dont la puissance augmentait avec la réduction de consommation, on a cherché un combustible meilleur marché que le gaz d'éclairage; on a été amené ainsi à produire le gaz sur place et au fur et à mesure des besoins.

Les moteurs à gaz pauvre, devenant plus économiques que la machine à vapeur, ont été adoptés par la grande industrie; leur puissance s'est accrue et a dépassé bientôt 100 et même 200 chevaux.

Les perfectionnements apportés aux gazogènes ont encore servi au développement des moteurs et, par un phénomène bizarre, ces gazogènes qu'on ne voulait employer que pour les grandes forces et là où on n'avait pas de gaz d'éclairage ont, par leur simplicité, permis d'alimenter très avantageusement les petits moteurs.

On a eu l'idée, dans ces dernières années, d'alimenter les moteurs à gaz pauvre avec un gaz presque gratuit, celui des hauts fourneaux.

Mais pour l'usage auquel on les destinait, pour la quantité de gaz disponible, il fallait des moteurs encore beaucoup plus puissants, et c'est ainsi qu'on est arrivé à

construire des moteurs de 1,000 chevaux dont l'emploi a permis de réduire le prix de revient de la fonte de plus de 5 francs la tonne.

Ces gros moteurs, alimentés soit avec des gaz de hauts fourneaux, soit avec des gaz pauvres, ouvrent les plus larges horizons à l'industrie des moteurs à gaz.

Les moteurs à essence ont bénéficié des progrès des moteurs à gaz; leur consommation s'est peu à peu réduite et leur emploi multiplié.

Ils sont utilisés dans les industries éloignées des villes éclairées au gaz, dans la campagne pour les locomobiles.

Depuis 1889, ils sont surtout appliqués à l'automobilisme qui, en familiarisant le public avec ce genre de moteurs, en facilitera le développement dans les autres industries.

Plus économiques que les précédents, les moteurs à huile de pétrole se sont développés avec eux et les supplanteront lorsque leur fonctionnement et surtout leur entretien seront mieux assurés et plus faciles.

L'application des moteurs à alcool, de date récente, a fait de grands progrès; leur consommation, d'abord très élevée, a été considérablement réduite. Ces moteurs prendront, croyons-nous, un grand développement lorsque l'alcool aura baissé de prix, ce qui aura lieu quand l'on sera parvenu à le fabriquer par synthèse.

L'application des moteurs à acétylène est aussi de date récente; ils se sont peu développés, le prix de l'acétylène étant trop élevé et ses effets trop brisants.

Le rendement très élevé des moteurs à combustion, et par conséquent leur faible consommation jointe à l'utilisation d'un combustible meilleur marché que les gazolines et les pétroles lampants, a facilité les applications du moteur Diesel.

De nombreuses installations ont été faites avant 1900, mais le développement de ces moteurs appartient à ce siècle, et on peut lui prédire un grand avenir.

Nous regrettons beaucoup de ne pouvoir donner à la fin de cet exposé le nombre de moteurs à gaz construits année par année, comme on peut le faire pour la machine à vapeur. Cette nomenclature serait intéressante au plus haut degré, puisqu'elle nous permettrait d'indiquer par des chiffres les progrès énormes réalisés dans cette industrie. Nous n'avons pas malheureusement de statistique sur laquelle nous puissions nous appuyer; nous pouvons cependant dire qu'il y avait à peine dix constructeurs de moteurs à gaz et à pétrole en 1889, et qu'en 1900 ce nombre dépassait plusieurs centaines.

Il nous reste, pour terminer notre rapport, à donner la description des moteurs exposés en 1900; nous les présenterons d'après la nature des récompenses.

IMPRIMERIE NATIONALE.

DESCRIPTION DES MOTEURS EXPOSÉS.

HORS CONCOURS.

Compagnie française des moteurs à gaz et des constructions mécaniques, rue Croix-Nivert, 155, à Paris (xve arrondissement).

Cette société est hors concours, son administrateur délégué, M. Firminhac, étant membre du Jury de la Classe 20.

Cette mise hors concours était du reste tout indiquée, puisque à la dernière Exposition universelle de 1889 elle avait conquis la plus haute récompense décernée aux moteurs à gaz.

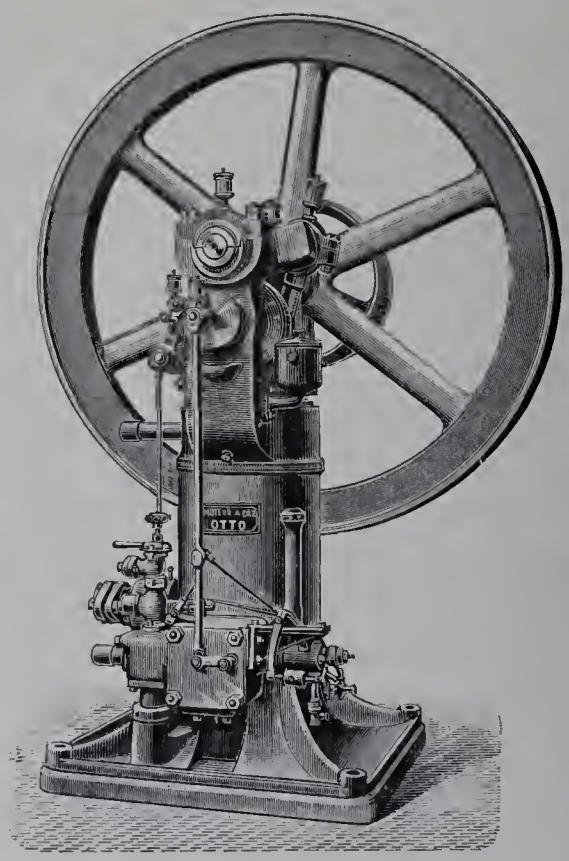


Fig. 4. — Moteur à gaz Otto (allumage par tube).

Cette compagnie exploite en France le célèbre moteur Otto, le premier moteur réellement pratique qui ait paru pendant de longues années.

Le moteur Otto est resté à la tête de l'industrie des moteurs, et l'exposition que la Compagnie française avait faite dans un pavillon spécial était digne de la réputation de la société et de ses produits.

La Compagnie française construit des moteurs verticaux depuis 3/4 de cheval jusqu'à 5 chevaux (fig. 4) et des moteurs horizontaux à 1 cylindre (fig. 5, 6 et 7), à 2 cylindres

(fig. 8) ou à 4 cylindres, de différentes forces, pouvant aller jusqu'à 1,000 chevaux. Ces moteurs peuvent être alimentés, suivant les cas, au gaz d'éclairage, au gaz de haut

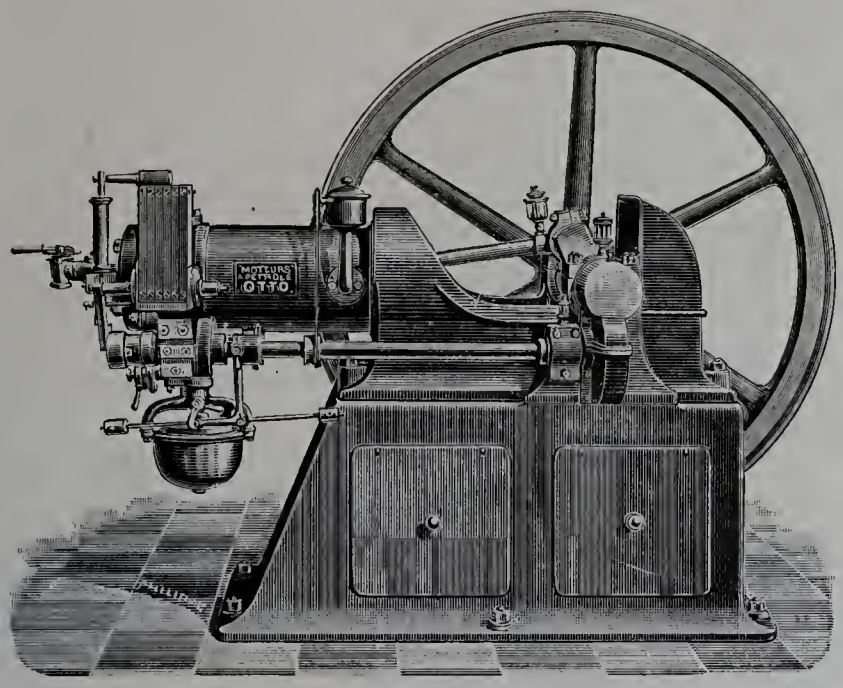


Fig. 5. — Moteur à gaz Otto (allumage par magnéto).

fourneau, au gaz pauvre par refoulement ou aspiration, au pétrole, à l'essence, voire même à l'acétylène ou à l'alcool.

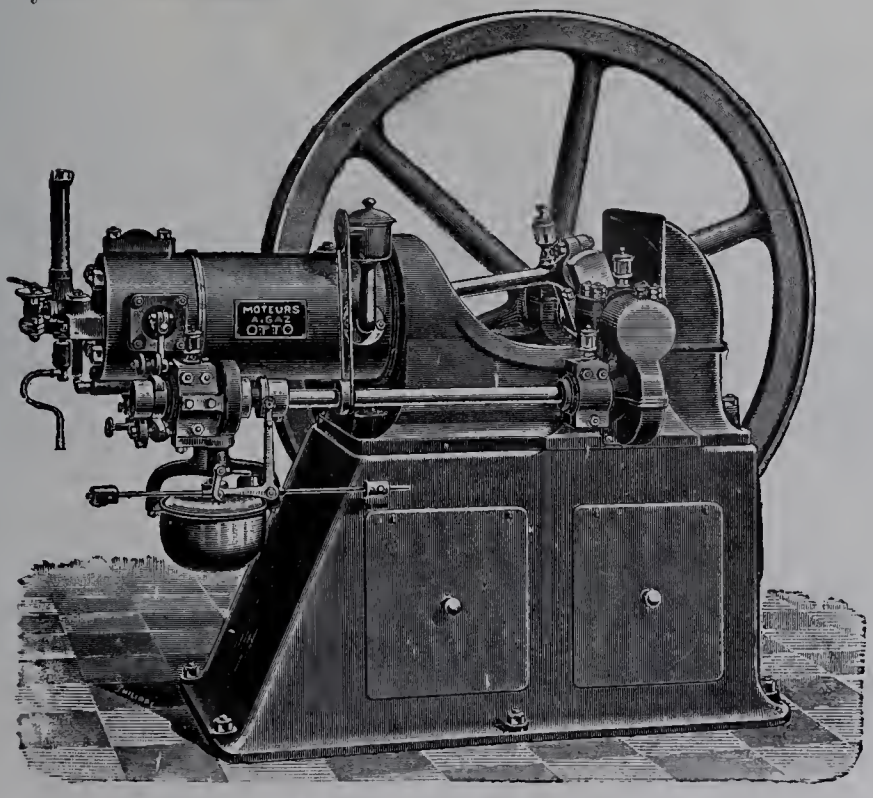


Fig. 6. — Moteur à gaz Otto (allumage par tube).

Des échantillons de la plupart des modèles construits par la Compagnie étaient exposés. Citons, en particulier, un moteur de 300 chevaux à deux cylindres, au gaz de haut

557

fourneau, destiné à être accouplé à un autre moteur de même puissance pour donner 600 chevaux. Ce moteur était horizontal, à deux cylindres placés côte à côte en porte à faux sur le bâti clos à l'avant de façon à assurer la liaison des deux paliers et à recueillir l'huile de graissage; arbre coudé équilibré, pas de glissières, distribution par soupapes verticales placées à l'arrière dans la chambre de compression l'une après l'autre, la soupape d'admission étant la plus éloignée, de façon à ce que le mélange entrant vienne lécher la soupape d'échappement et la refroidir. Ces deux soupapes sont commandées par cames et peuvent être facilement démontées et visitées grâce à des bouchons amovibles placés au-dessus d'elles. Régulation par tout ou rien au moyen d'une soupape à gaz commandée par came, soumise à l'action du régulateur; allumage électrique par magnéto à mouvement intermittent; refroidissement par circulation d'eau; graissage du cylindre obtenu à l'aide d'une petite pompe à mouvement oscillant, commandée par la machine. La distribution, la régulation, l'allumage et le graissage sont actionnés par un arbre de distribution tournant deux fois moins vite que l'arbre moteur, perpendiculaire à celui-ci, recevant son mouvement au moyen de deux roues égales à denture hélicoïdale. La soupape d'échappement est munie d'un dash-pot ayant pour but d'empêcher une fermeture trop rapide, entraînant des casses, pour des soupapes d'aussi grandes dimensions.

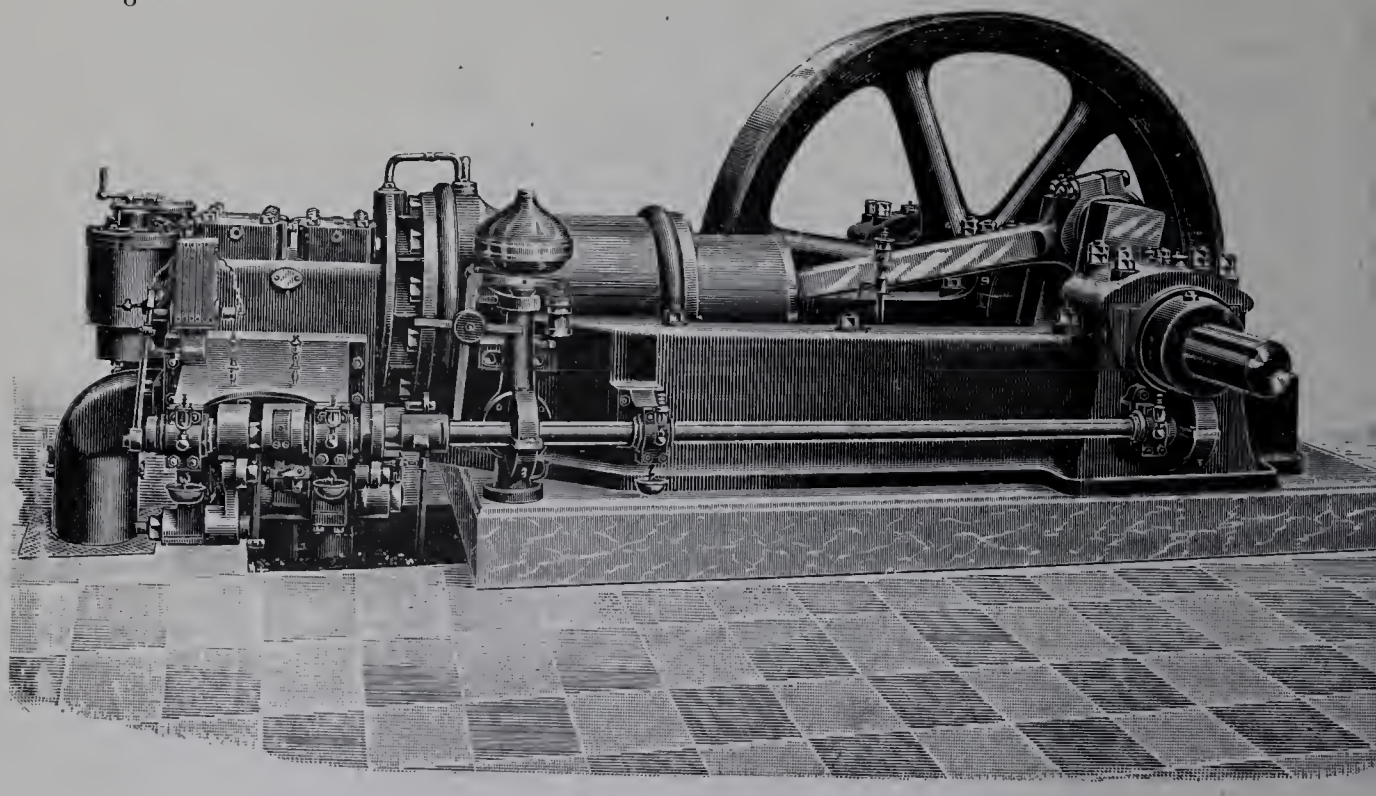


Fig. 7. — Moteur Otto pour gaz riche ou pauvre.

Le régulateur à force centrifuge à masses équilibrées est muni d'une cataracte qui en assouplit l'action. Le cylindre est rapporté à la chemise d'eau qui fait corps avec le bâti, ce qui rend aisées réparations et fabrication.

La tête de bielle est graissée au moyen d'un compte-gouttes qui laisse tomber l'huile

dans un collier muni d'un conduit le faisant communiquer avec le maneton par des canalisations ou par des trous forés dans des flasques et le maneton, l'huile se rend à la tête de bielle sous l'effet de la force centrifuge.

Les paliers moteurs, larges et robustes, sont à graissage par bagues; les roues de distribution sont enfermées dans une boîte formant bain d'huile.

Quant à l'huile envoyée par la pompe, son arrivée au cylindre est rendue visible grâce à un tube de verre rempli d'eau qu'elle est forcée de traverser.

Une foule de détails de construction, résultats d'une longue pratique, assurent à ces machines un fonctionnement qui a fait leur réputation. Ce moteur marchait au gaz d'éclairage à l'Exposition.

A signaler encore le moteur ordinaire à pétrole lampant et un autre également à pétrole, dit *à membranes,* dans lequel la distribution, la régulation se font sans l'intermédiaire d'aucune roue dentée.

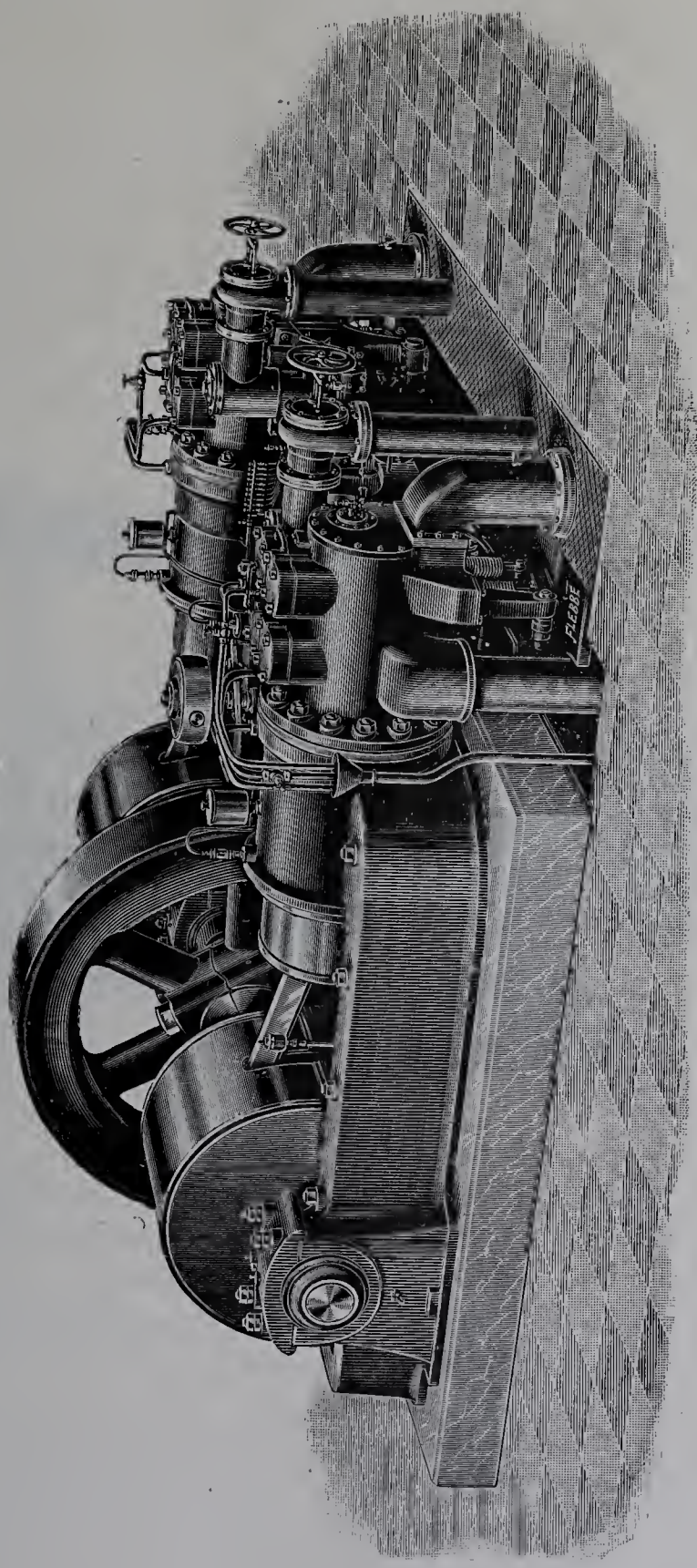


Fig. 8. — Moteur Otto pour gaz riche ou pauvre.

Dans ces machines qui conviennent surtout aux marches rapides et se prêtent particulièrement à l'adaptation aux bateaux, la soupape d'admission est automatique, alors que la soupape d'échappement

est commandée par des leviers et un excentrique calé sur l'arbre moteur même. L'extrémité de la soupape d'échappement, étant mobile, est reliée à une membrane communiquant d'un côté avec le tuyau d'admission de la machine, de l'autre avec l'atmosphère.

Lorsque le vide se fait au moment de l'admission, l'extrémité de la tige de la soupape d'échappement est mise hors d'atteinte des organes de commande et cette soupape d'échappement ne se trouve ainsi soulevée qu'au coup d'après où il ne s'est pas produit d'admission, c'est-à-dire une fois sur deux. Si la vitesse est trop grande, un petit régulateur à inertie maintient la soupape d'échappement sur son siège, en même temps qu'elle arrête la pompe de distribution du pétrole commandée à peu près comme la soupape d'échappement.

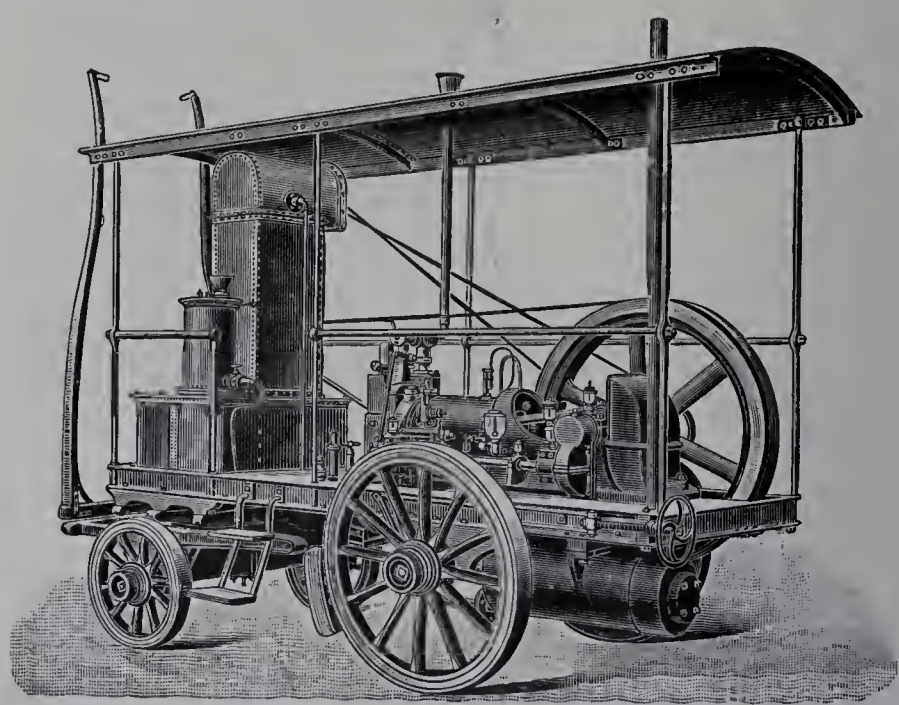


Fig. 9. — Locomobile à pétrole Otto.

Le pétrole est injecté à la culasse formant vaporisateur et pulvérisé dans l'air admis en même temps. L'allumage peut se faire par tube incandescent ou par magnéto; dans ce dernier cas, la mise en marche s'effectue à l'essence.

Machine verticale type pilon, réglage par tout ou rien; refroidissement par eau. Ce moteur fonctionne également bien à l'essence.

Des moteurs à pétrole ou à essence à pompe, tube ou magnéto, mais sans membrane, du type moteur à gaz sont également construits fixes ou montés sur locomobiles (fig. 9), locomotives, etc. Les petits moteurs verticaux ou horizontaux, destinés à l'emploi du gaz d'éclairage, sont basés sur les principes des gros moteurs; mais le plus souvent l'allumage se fait au moyen d'un tube incandescent en porcelaine, fermé à une extrémité et chauffé par un brûleur à gaz.

Un certain nombre de moteurs Otto de tous types étaient visibles dans différentes parties de l'Exposition, en marche dans la plupart des cas.

C'est ainsi qu'à Vincennes on pouvait voir en fonctionnement un moteur Otto de 60 chevaux, à gaz pauvre, alimenté par un gazogène Lencauchez.

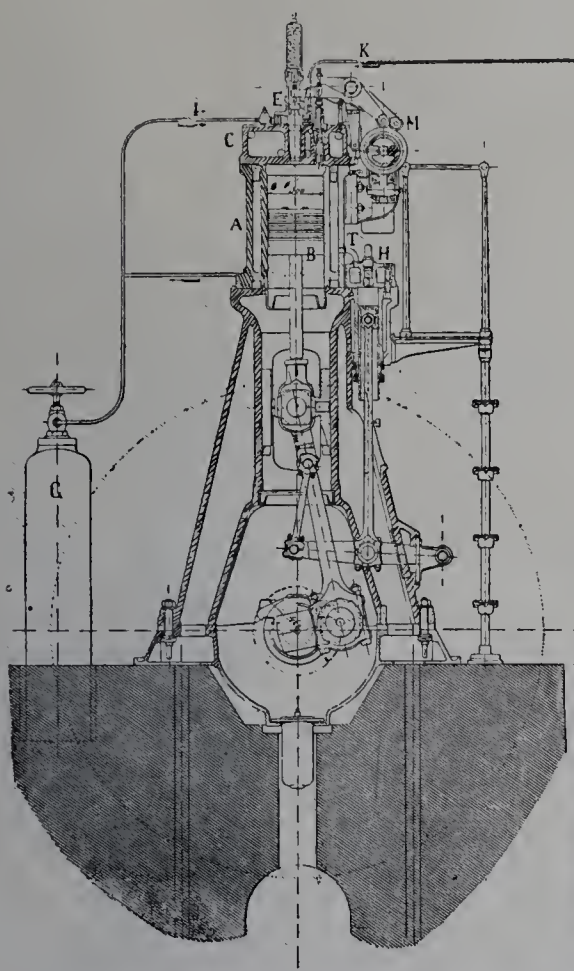


Fig. 10. — Moteur Diesel (coupe transversale).

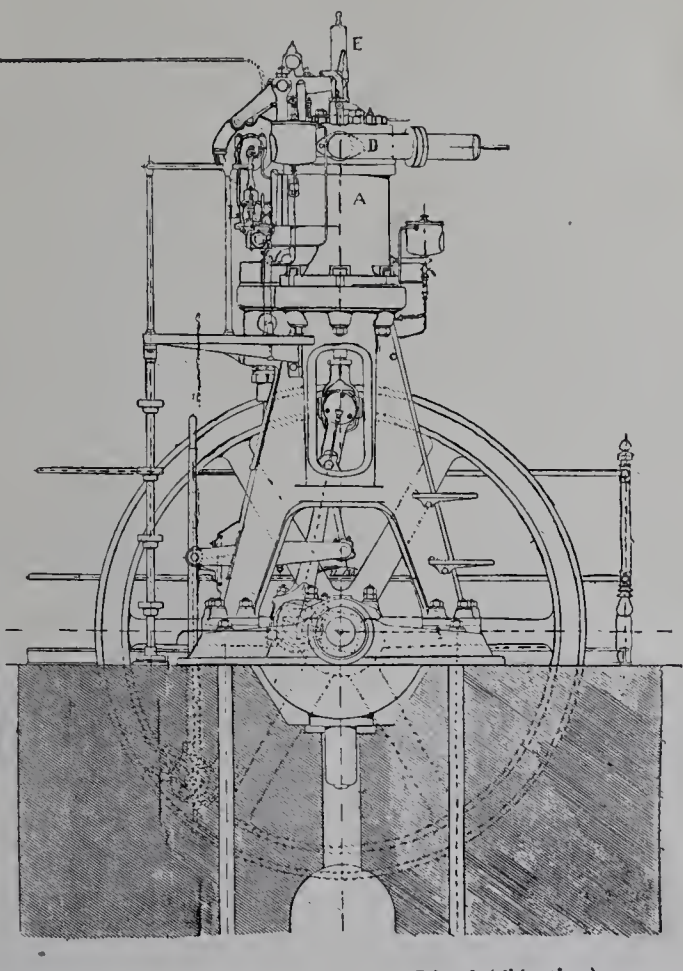


Fig. 11. — Moteur Diesel (élévation).

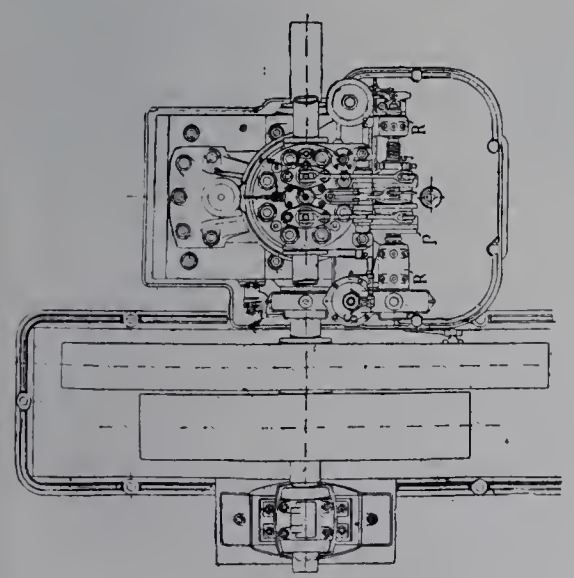


Fig. 12. — Moteur Diesel (plan).

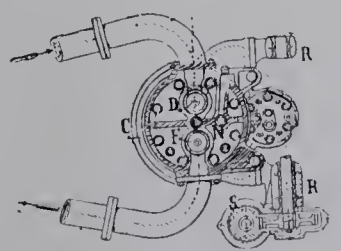


Fig. 13. — Moteur Diesel (coupe de la culasse).

La Compagnie française exposait du reste plusieurs de ces gazogènes fonctionnant par refoulement ou par aspiration, et en outre des moteurs Diesel, dont

un pouvait être vu fonctionnant à Vincennes (fig. 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 et 17).

Il est bon que nous disions quelques mots de cette machine si intéressante, qui a rapidement acquis une réputation justifiée.

La plupart des moteurs actuels, et l'on peut dire tous les moteurs pratiques actuels, dérivent du moteur Otto à compression, dit *à quatre temps*.

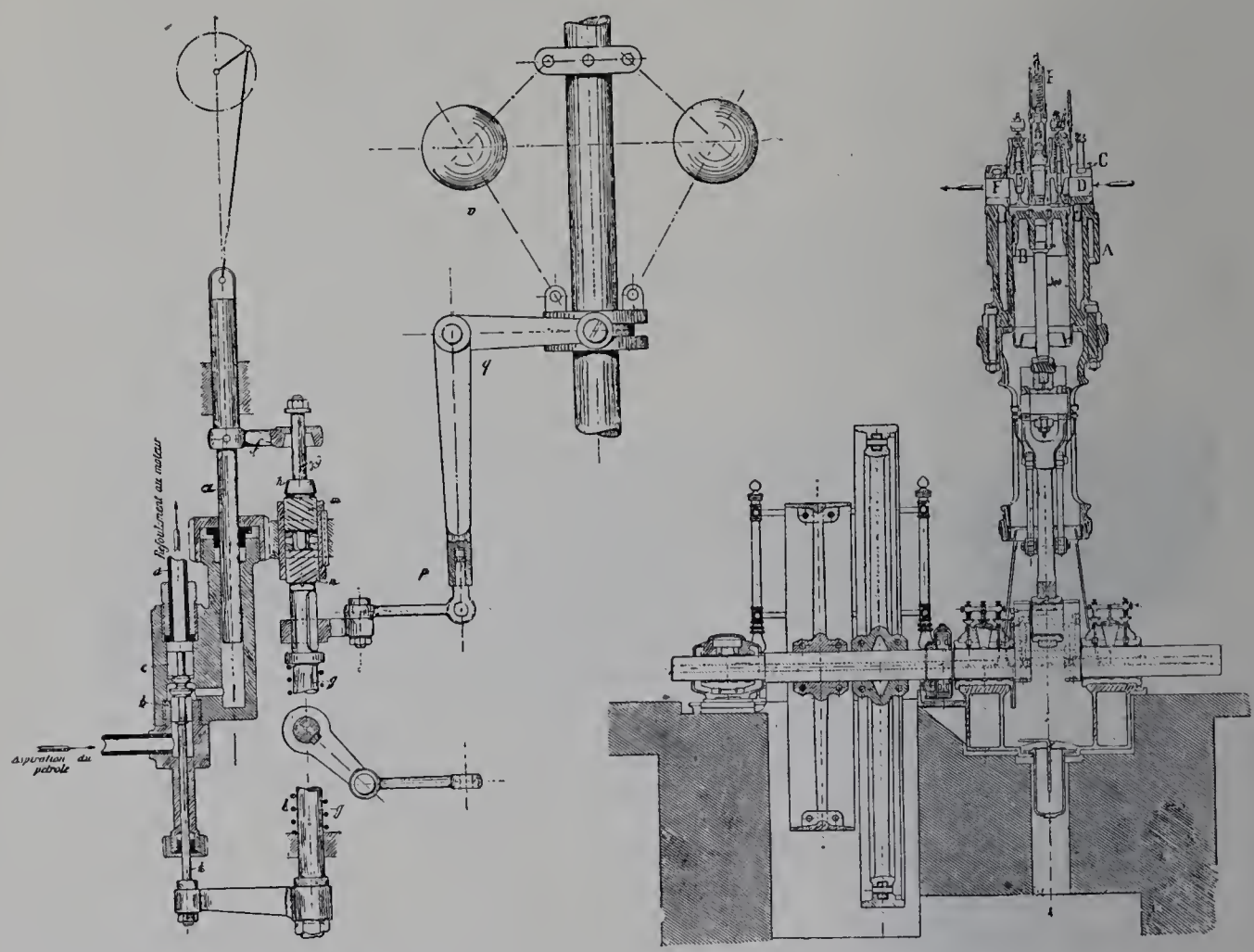


Fig. 14. — Moteur Diesel.
Détail de la pompe et de son régulateur.

Fig. 15. — Moteur Diesel.
Coupe longitudinale.

Ce moteur est caractérisé par le fonctionnement suivant : aspiration du mélange explosif; compression de ce mélange; allumage, explosion et détente formant la période de travail; puis, échappement des produits de la combustion, ces quatre phases constituant le cycle qui va se reproduire constamment de même façon.

C'est grâce à la compression préalable du mélange explosif que la consommation a pu être abaissée dans de sensibles limites et que le fonctionnement a pu être rendu meilleur; mais si, en principe, l'économie augmente avec la compression, celle-ci, par contre, est limitée par la valeur même de cette compression, qui pour des conditions déterminées ne peut dépasser une certaine valeur dépendant desdites conditions.

Avec la compression, la température du mélange explosif augmente en effet, et pour une certaine valeur de cette compression, on atteint une température telle que le mélange explosif s'enflamme de lui-même, provoquant ainsi une auto-inflammation spontanée, anticipée, brutale, de toute la masse explosive, rendant impossible tout fonctionnement régulier. Cette auto-inflammation se fait d'autant plus tôt que le mélange est plus riche, moins homogène, ce qui est le cas dans les moteurs à pétrole.

En principe, on ne peut guère, en effet, dépasser 3 kilogr. 500 à 4 kilogrammes dans ces dernières machines, alors que le gaz d'éclairage permet d'obtenir 6 à 7; le gaz pauvre et l'alcool, 11 à 12. En outre, l'explosion qui se manifeste dans un moteur à explosion est toujours très rapide, brutale, instantanée et de peu de durée; il en résulte une marche relativement peu régulière de ces machines, si on ne prend pas de mesures en conséquence.

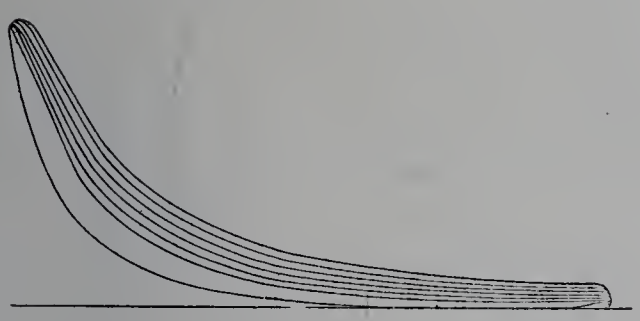


Fig. 16.

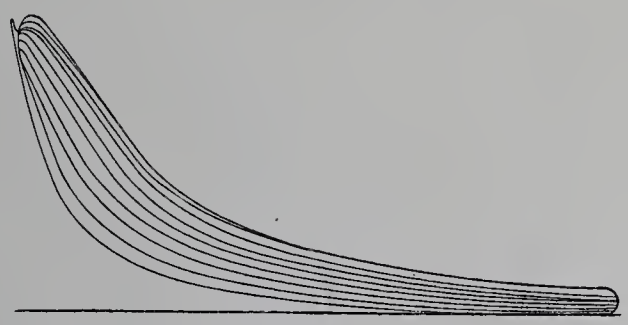


Fig. 17.

Diagrammes relevés sur un moteur Diesel.

C'est dans le but de parvenir à une économie plus grande, une marche plus parfaite, par une élévation sensible de la compression, que Diesel a combiné son moteur; dans celui-ci, lors de la période d'admission, le cylindre ne se remplit pas de mélange explosif, mais bien d'air pur seulement, qui peut être comprimé à une pression très élevée (45 kilogrammes par exemple), sans aucune crainte, puisque aucune auto-inflammation n'est à redouter; mais en même temps que l'air nécessaire à la combustion est comprimé à une pression élevée, une pompe à air exerce une pression légèrement supérieure à la surface du pétrole contenu dans un réservoir communiquant par une soupape avec l'intérieur du cylindre moteur. A la fin de la compression dans ce cylindre, cette soupape se soulève de son siège, le pétrole pulvérisé pénètre dans l'intérieur du cylindre, et, trouvant là de l'air à température de son auto-inflammation, s'allume en y rentrant, au fur et à mesure de cette entrée même, c'est-à-dire provoque non plus une explosion, mais bien une combustion qui dure pendant toute l'admission.

De fait, cette remarquable machine a donné des résultats économiques très intéressants, puisque son cheval-heure a pu être obtenu avec 180 grammes pour le cheval indiqué et 238 grammes pour le cheval effectif correspondant à un rendement mécanique de 75 p. 100 et à un rendement thermique de 26 p. 100.

Moteur vertical, à cylindre à la partie supérieure, type pilon, distribution par soupape, refroidissement par circulation d'eau, etc.

M. H. Brulé et Cie, ancienne maison Hermann-Lachapelle, rue Boinod, 31, à Paris.

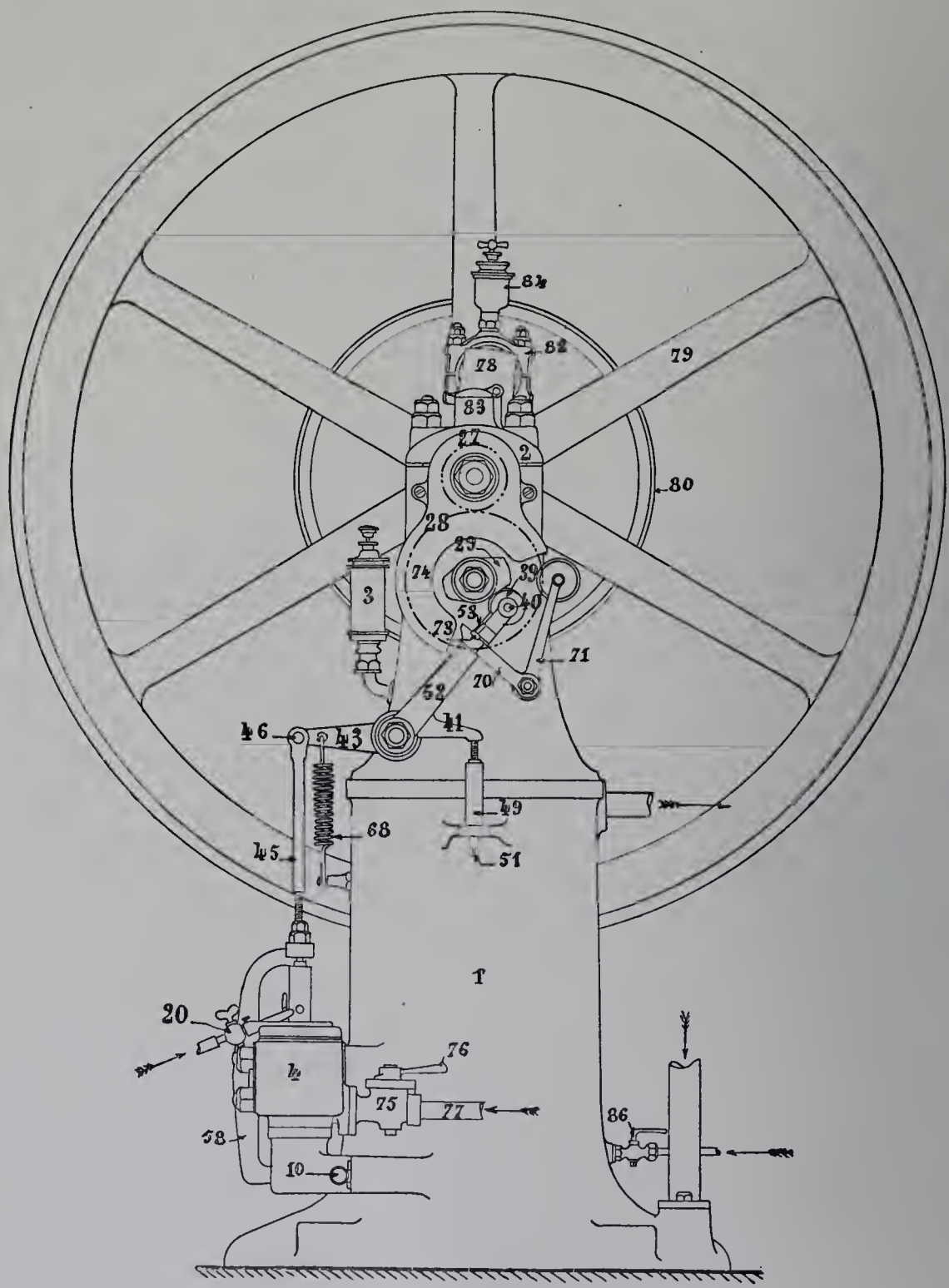


Fig. 18. — Moteur à gaz Kœrting-Brulé (élévation latérale).

Cette maison a été mise hors concours, M. Brulé, son gérant, étant membre secrétaire de la Classe 20.

Elle exploite les moteurs Kœrting, très anciens et très connus; ce moteur vertical à un cylindre est destiné à fonctionner au gaz (fig. 18, 19). Le fond du cylindre

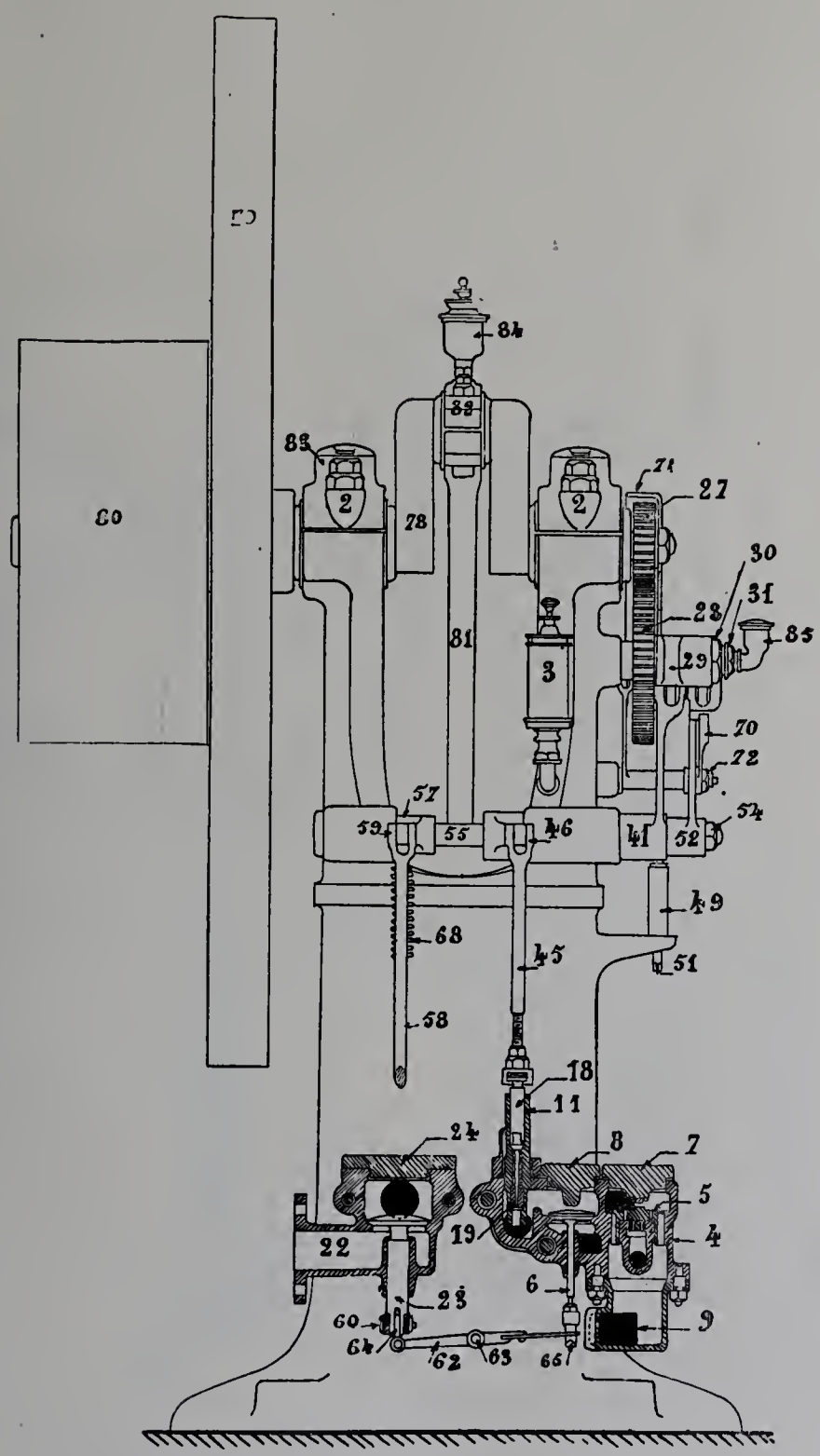


Fig. 19. — Moteur à gaz Kœrting-Brulé (coupe par la distribution).

placé à la partie inférieure sert de base à la machine qui supporte, à la partie supérieure, les paliers moteurs, l'arbre, la manivelle, le volant, etc. La distribution est assurée par des soupapes verticales; les soupapes d'admission et d'échappement sont

commandées; la soupape à gaz, automatique. La régulation a lieu par tout ou rien. Le régulateur à masse placé dans la grande roue dentée de commande de l'arbre de distribution à cames, agit par levier sur la soupape d'échappement. L'allumage par

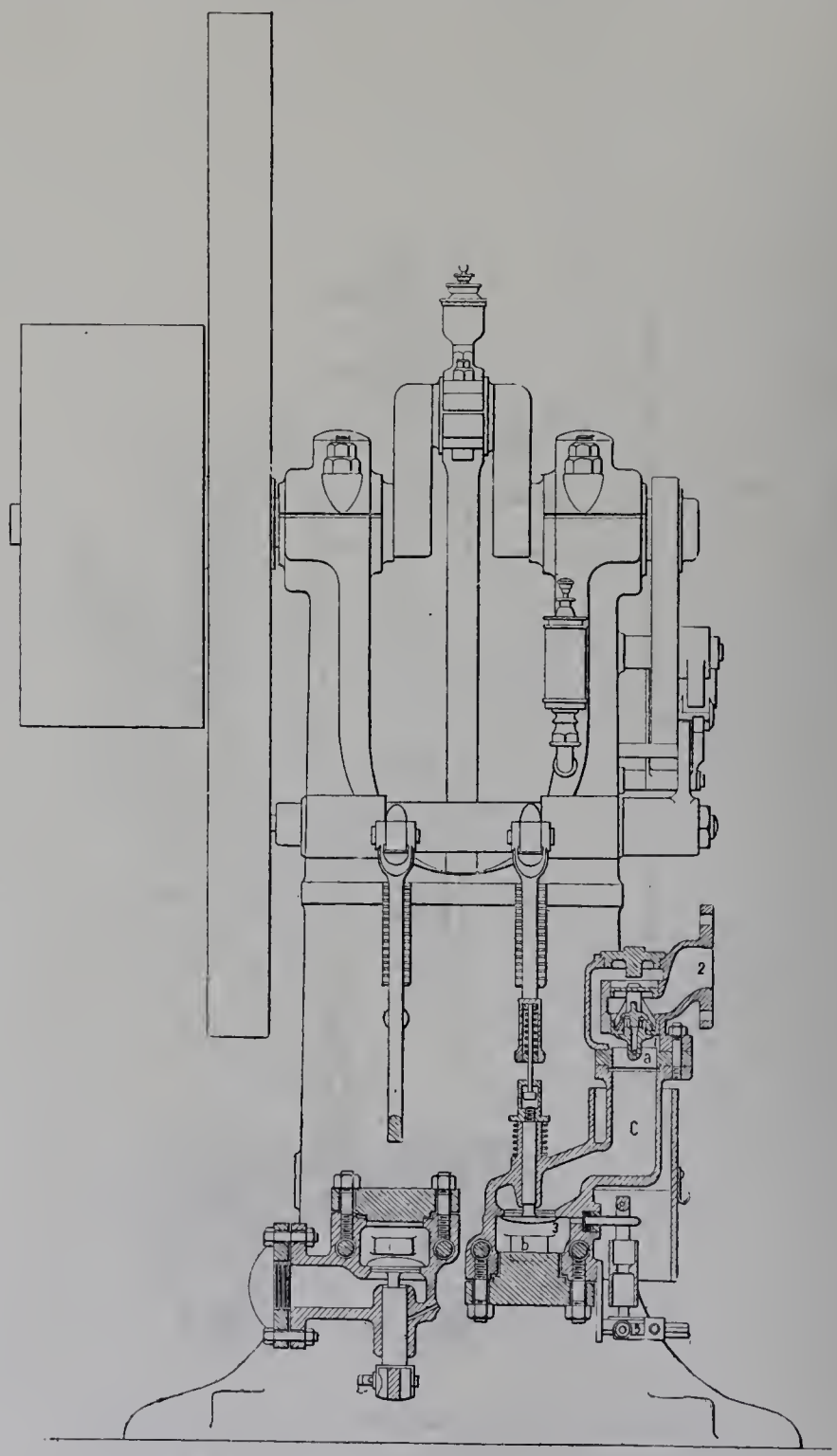


Fig. 20. — Moteur à pétrole Kœrting-Brulé (coupe par la distribution).

propagation de flamme est obtenu à l'aide d'une fuite provoquée lors de la période de compression. Cette fuite vient s'enflammer à un bec veilleur brûlant extérieurement, la flamme revient ensuite sur ses pas et se propage dans l'intérieur du cylindre lorsqu'un

piston commandé par l'arbre de distribution vient boucher la fuite. Le refroidissement est assuré par circulation d'eau. Cet intéressant moteur, destiné à la petite industrie, et partant de puissance ne dépassant pas 12 chevaux, fonctionne également au pétrole (fig. 20). Dans ce cas la soupape d'admission automatique constitue en même temps un distributeur de pétrole. Le mélange d'air et de pétrole pulvérisé traverse, avant de se rendre au cylindre, une chambre de vaporisation chauffée par un brûleur à pétrole ordinaire placé au-dessous qui maintient en même temps un tube d'allumage à incandescence.

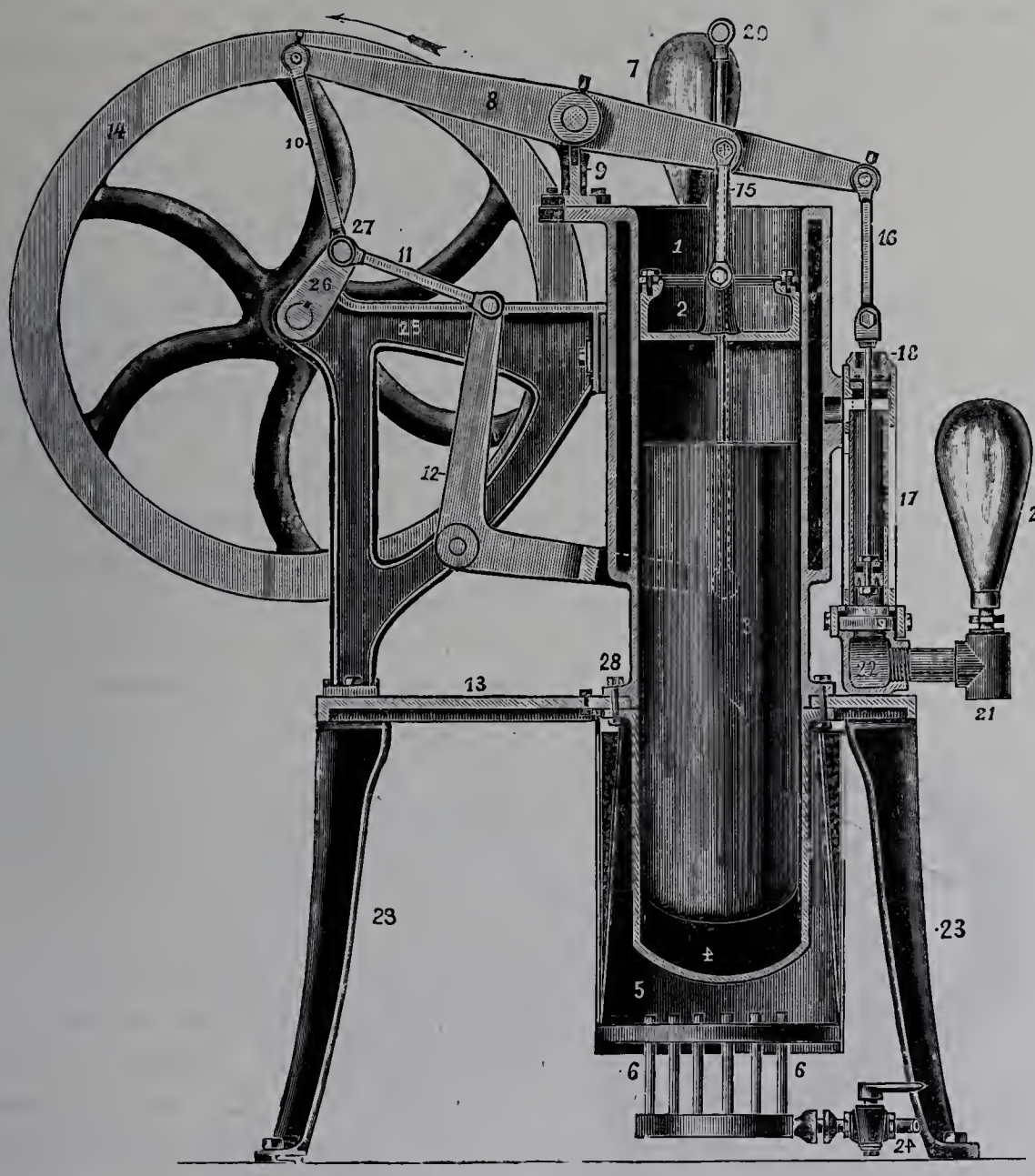


Fig. 21. — Moteur Brown à air chaud (coupe).

M. Le Blanc (Jules), rue du Rendez-vous, 52, à Paris.

M. Le Blanc (Jules), hors concours en qualité de vice-président du Jury, exposait un moteur à air chaud du système Brown, de 3-4 HP. Ce moteur comprend

(fig. 21) : 1° Un poêle fermé par deux portes donnant accès, l'une au foyer proprement dit, l'autre au cendrier. Ce poêle possède une trémie de chargement à clapet d'obturation; 2° Une pompe de compression d'air, le prenant à l'extérieur et le refoulant à 1 kilogr. 500 environ, dans le foyer du poêle, par un conduit muni d'une soupape de sûreté réglant la pression; 3° Un cylindre moteur à simple effet, à piston à fourreau, sur lequel agit l'air chaud en se détendant, recevant cet air du foyer au moyen d'une soupape commandée par un mouvement de déclic; 4° Régulateur à boules, organes de transmission de mouvements divers. Ce moteur à air chaud fonctionne au coke ou au charbon de bois. Il suffit pour le mettre en marche d'allumer le foyer et de tourner quelques tours au volant pour obtenir les premières charges d'air.

Société des industries économiques, rue Laffitte, 40, à Paris.

Cette société a été mise hors concours en raison de ce que son directeur, M. Manaut, était membre du Jury de la Classe 117. Elle exploite en particulier les moteurs *Charon*. Son importante exposition comprenait, tant au Champ-de-Mars qu'à Vincennes, 32 moteurs. Moteurs verticaux (fig. 22) de 50 kilogrammètres à 4 chevaux et moteurs horizontaux (fig. 23, 24, 25), de 4 à 60 chevaux, au gaz d'éclairage.

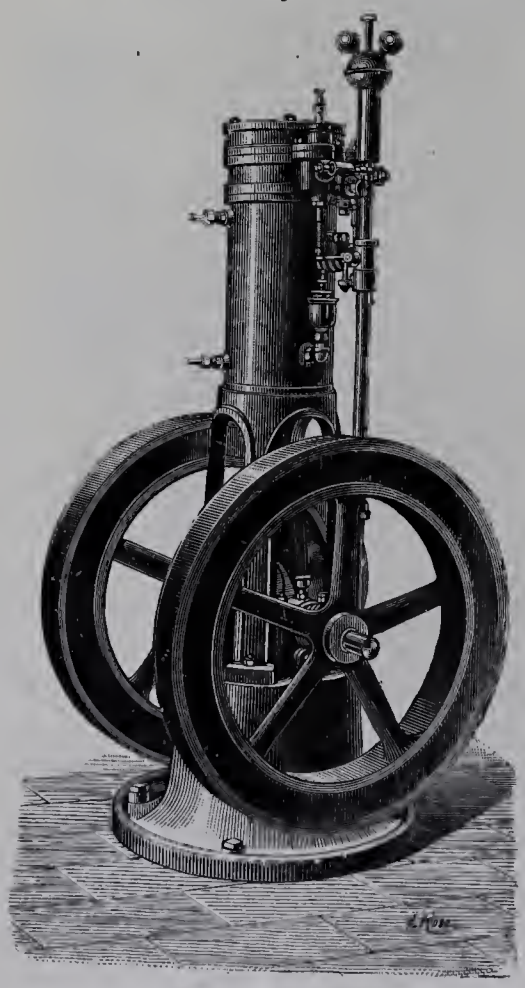


Fig. 22.— Moteur Charon.

Parmi ces machines exposées, on a remarqué spécialement des moteurs de 3 à 50 chevaux alimentés par gazogène *Taylor* produisant du gaz pauvre par aspiration; un moteur à gaz pauvre de 20 chevaux alimenté par un gazogène *Gardie* et 2 moteurs à pétrole de 16 chevaux.

Le moteur Charon a fait son apparition à l'Exposition de 1889. L'économie qu'il revendiquait avait appelé l'attention sur cette machine basée du reste sur un principe nouveau.

Ce moteur, lui aussi, découle du moteur *Otto,* dont il utilise le cycle qu'il améliore par une prolongation de la détente obtenue de la façon suivante :

La soupape d'admission commandée, au lieu de communiquer directement avec l'extérieur par une simple canalisation, est mise en relation avec l'air à l'aide d'un serpentin d'une certaine longueur. La course du piston est augmentée ; il en résulte que

lors de la période d'admission, toutes conditions égales d'ailleurs, le moteur Charon aspirera un volume plus grand de mélange explosif, mais au lieu, comme dans les autres moteurs, de comprimer immédiatement ce mélange explosif, il refoulera une

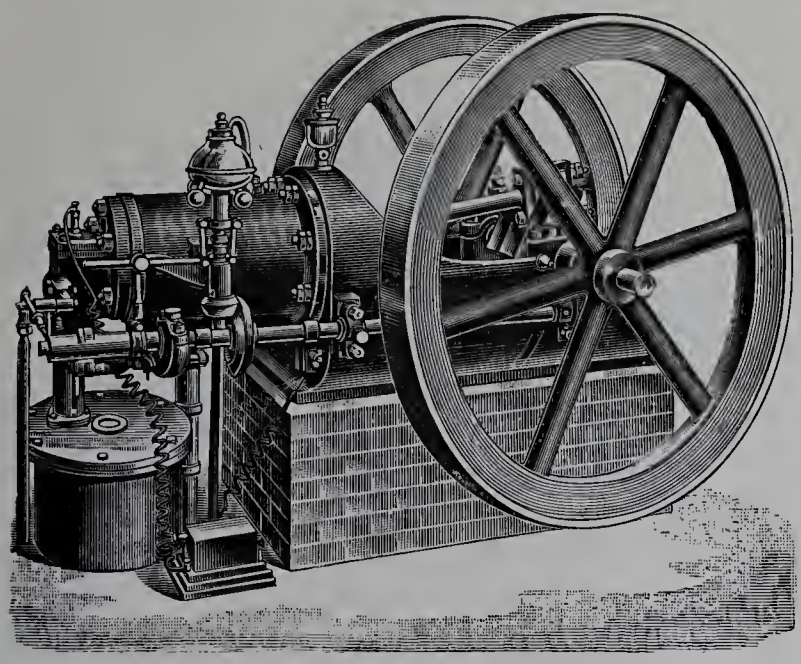


Fig. 23. — Moteur Charon.

certaine quantité de ce mélange par la soupape d'admission laissée ouverte dans l'intérieur du serpentin dont nous avons parlé, si bien qu'en réalité, le moteur ayant remisé

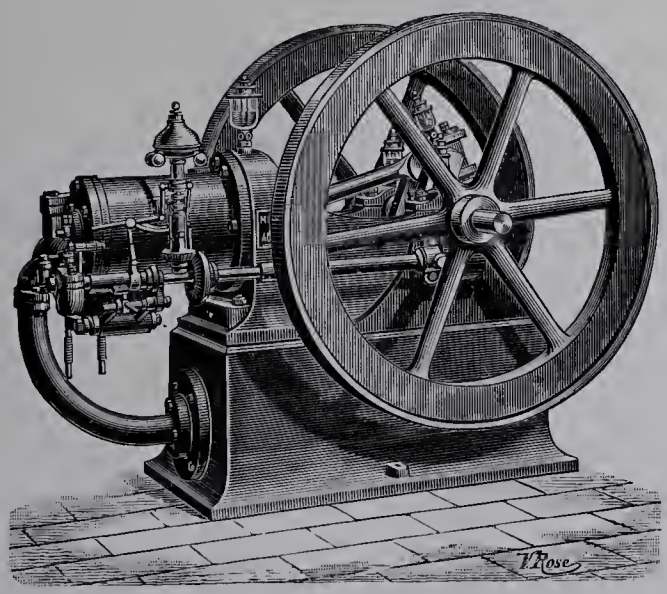


Fig. 24. — Moteur Charon.

le supplément admis dans ce serpentin pour y être repris à l'admission suivante, ne conserve et ne comprime qu'un volume de mélange explosif identique à celui d'un moteur ordinaire. Mais alors qu'un moteur ordinaire arrêterait sa détente lorsque le

volume de détente est égal au volume admis, le moteur Charon lui, grâce au supplément de longueur de course, continue cette détente pendant un certain temps encore au

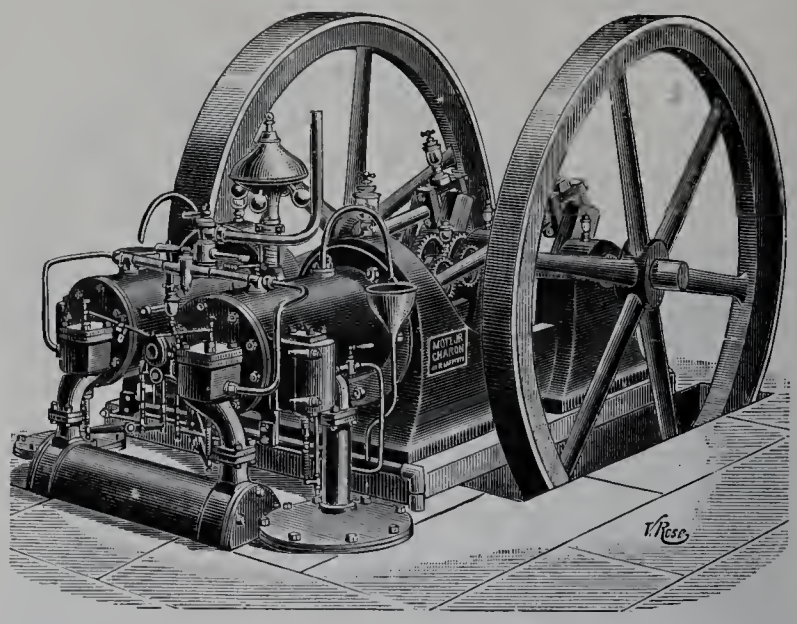


Fig. 25. — Moteur Charon.

grand avantage de l'économie. En outre, le point de refoulement d'une partie du mélange explosif variant sous l'influence du régulateur, il y aura ainsi une explosion

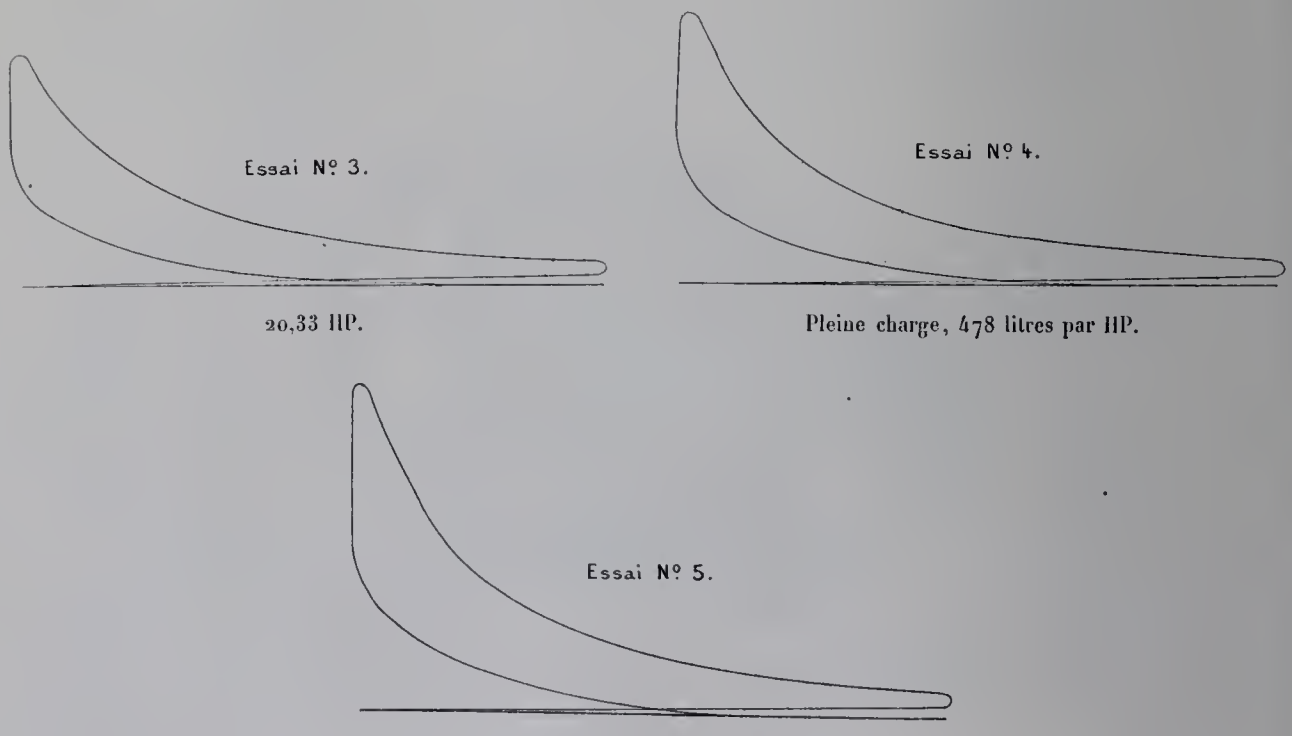


Fig. 26. — Diagrammes relevés sur moteur à gaz Charon de 25 chevaux.

à chaque coup, mais une explosion d'intensité variable, dépendant de l'effort demandé à la machine et contrôlée par le régulateur à l'aide de deux cames inclinées agissant

l'une sur la soupape d'admission, l'autre sur la soupape à gaz. C'est ainsi une véritable détente variable par le régulateur qui est réalisée.

Dans ce moteur, les produits de l'échappement, étant plus détendus, sont à température moindre, d'où meilleure conservation de la soupape d'échappement, et économie d'eau de circulation.

Le moteur à pétrole Charon est caractérisé par un distributeur à alvéole, un vaporisateur chauffé par l'échappement, l'allumage par tube incandescent chauffé par un brûleur à pétrole à pression d'air.

Ces divers perfectionnements apportés dans sa construction ont permis d'obtenir une économie de gaz et d'eau, en même temps qu'une régularité de marche, qui sont les caractéristiques des moteurs Charon, dont dix ans de pratique ont consacré la qualité.

Maison Roser, *à Saint-Denis (Seine).*

Cette maison a été mise hors concours, M. Roser (Nicolas) étant membre du Jury de la Classe 19.

Elle exposait un moteur à essence, système Roser-Mazurier (fig. 27 à 31), d'un type nouveau et intéressant, plus particulièrement destiné à la marche à l'essence, quoique fonctionnant aussi au gaz, pour la conduite des voitures et des bateaux.

Ce moteur se caractérise par une économie de combustible et une réduction des trépidations; ces résultats sont obtenus par la prolongation de la détente, comme dans le moteur *Charon,* et par l'équilibrage.

La prolongation de la détente est réalisée par compoundage; les produits de l'échappement provenant des deux cylindres, placés côte à côte, achevant de se détendre dans un troisième, situé entre les deux premiers. Les deux cylindres proprement dits ont leur manivelle calée à 360 degrés; ces manivelles sont parallèles et de même sens, mais les cycles sont croisés de façon à obtenir une explosion à chaque coup.

Les échappements de ces deux cylindres, à simple effet, donnent à tous les tours sur le troisième piston, qui joue le rôle de moteur à air chaud simplement. Le mouvement de ce piston est inverse des deux autres et de même poids, si bien que les pièces en mouvement se trouvent ainsi complètement équilibrées.

L'axe de l'arbre moteur est excentré par rapport à l'axe des cylindres, dans le but d'utiliser sur les bras de levier déjà importants les gaz chauds au moment de l'explosion, et d'augmenter la vitesse du piston, pendant la période de la détente.

Ce moteur appliqué à un omnibus, présenté à un concours de poids lourds, s'est signalé par une certaine économie.

Lorsque nous aurons dit que ce moteur est du type vertical, à distribution par soupapes, commandées par cames, à régulation par étranglement de l'admission, agissant sur un papillon, à allumage électrique par bougie et à refroidissement par

IMPRIMERIE NATIONALE.

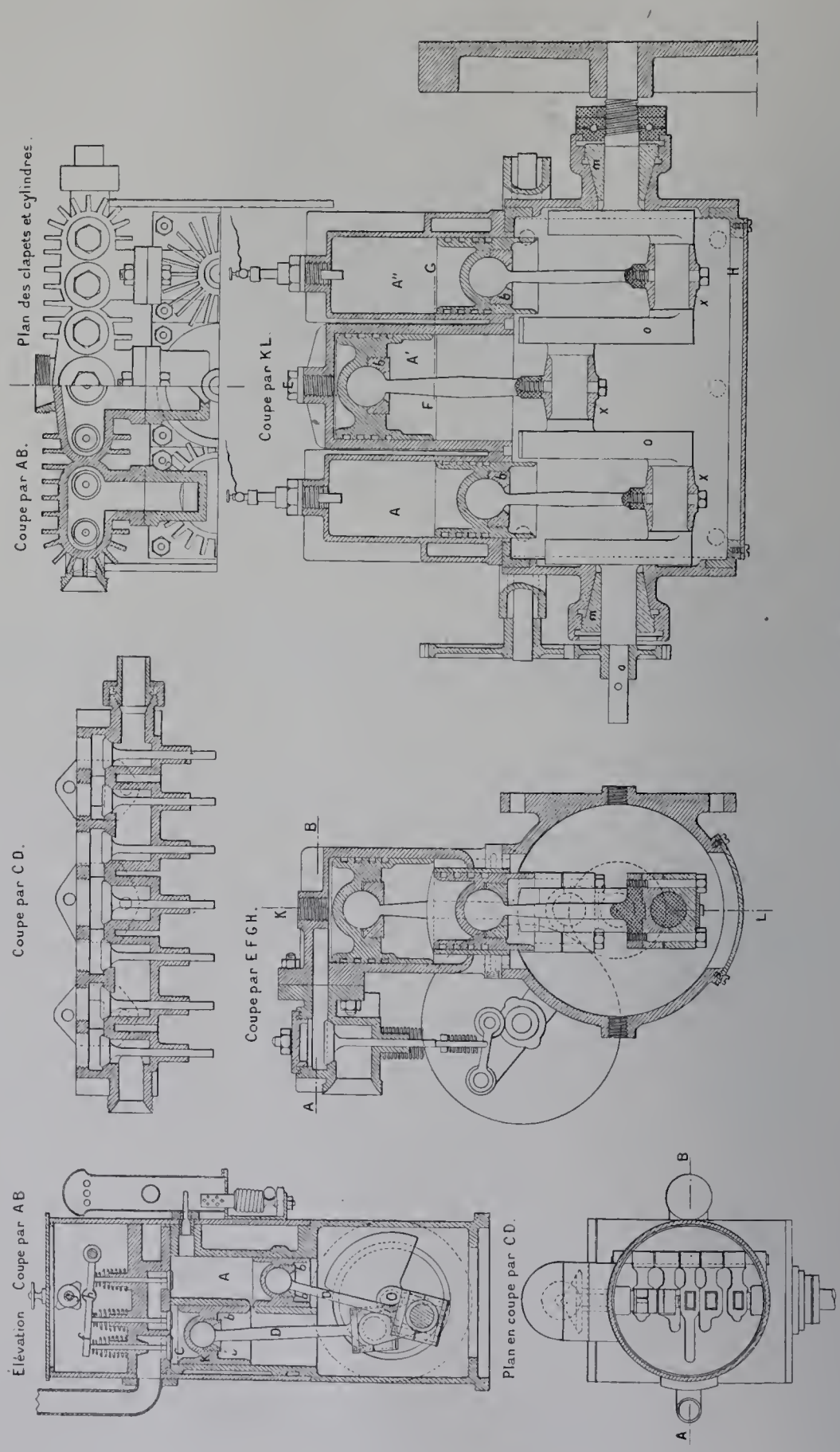


Fig. 27 à 31. — Moteur Roser-Mazurier.

circulation d'eau, nous aurons donné les caractéristiques les plus importantes de ce moteur intéressant.

Société anonyme des anciens établissements Panhard et Levassor.

Cette maison a été mise hors concours, M. Clément, président du Conseil, étant membre du Jury de la Classe 20.

La Société des établissements Panhard et Levassor est bien connue pour ses automobiles, d'une réputation universelle et méritée.

Après une expérience acquise dans la construction des moteurs fixes, elle lança l'une des premières automobiles à pétrole en France, en exploitant les brevets *Daimler,* appliqués en particulier à un moteur à essence à grande vitesse, de marche régulière, de poids et de volume réduits.

C'est ce moteur modifié et perfectionné que la Société des établissements Panhard et Levassor présentait comme moteur fixe susceptible d'un certain nombre d'applications spéciales, la production d'électricité en particulier.

Cette société exposait un groupe électrogène à essence, constitué par un moteur à 4 cylindres, de 10 chevaux 1/2, commandant directement une dynamo; l'allumage est électrique, le poids du moteur par cheval de 9 kilogr. 500, les cylindres verticaux sont placés côte à côte. Le bâti étanche contient les manivelles, servant au graissage par barbotage. La distribution est faite par soupapes, la soupape d'admission étant automatique et la soupape d'échappement commandée. Le régulateur est électrique et agit sur les soupapes d'admission, dont il gêne le fonctionnement, pour étrangler l'admission à l'aide d'un électro-aimant. Le refroidissement est assuré par circulation d'eau. Le diamètre des cylindres est de 80 millimètres; la course du piston de 90. Le moteur tourne normalement à 1,250 tours par minute. L'énergie électrique disponible atteint 6,000 watts environ.

En outre de ce très intéressant groupe électrogène, la Société Panhard exposait un moteur d'un demi-cheval monté sur une brouette et actionnant directement une pompe à vin; un moteur de 1 cheval, activant une machine à affûter les scies à ruban, et un moteur de 2 chevaux monté sur un chariot avec pompe centrifuge pour épuisement.

Tous ces moteurs, à un cylindre vertical, sont à bâtis clos, étanches, distribution par soupapes; soupapes d'admission automatiques, soupapes d'échappement commandées, régulation par tout ou rien en maintenant la soupape d'échappement fermée; allumage par tube incandescent.

On voyait, en outre, un moteur à 2 cylindres pour voiture, de 4 à 5 chevaux pesant 100 kilogrammes.

Ces excellents petits moteurs, qui ont fait leurs preuves en maintes courses automobiles, sont susceptibles de très intéressantes applications fixes, là où un poids à volume réduit ou une grande vitesse sont nécessaires.

Fig. 32. — Moteur Lenoir à compression.

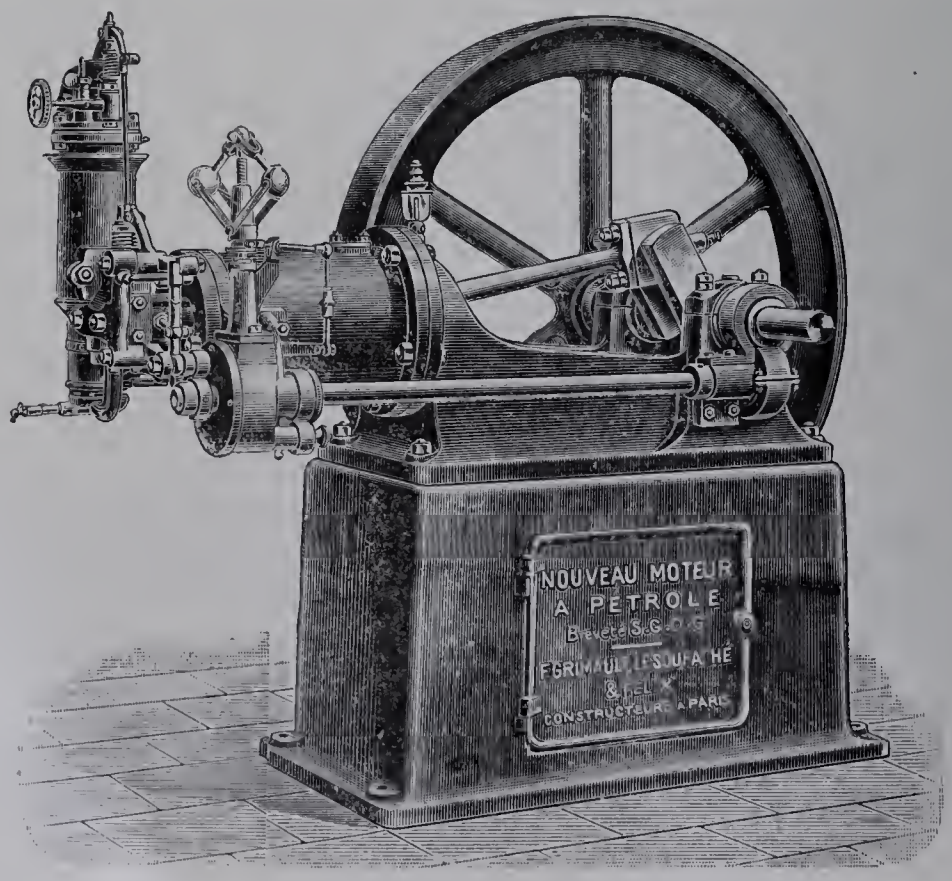


Fig. 34. — Moteur Rouart à pétrole.

Société anonyme des ateliers de construction de la Meuse, à Liège (Belgique).

Cette société a été mise hors concours, M. Timmermans, son directeur-gérant, étant membre du Jury de la Classe 19.

La Société des ateliers de la Meuse exploite un moteur à pétrole lampant, système Hornsby-Akroyd, d'origine anglaise, pour applications fixes ou pour locomobiles. Ce moteur sera décrit plus loin.

Fabriques de machines à vapeur d'Augsbourg et de Nuremberg.

Cette société exposait un moteur *Diesel*, d'une puissance de 60 chevaux. C'est la maison mère des moteurs Diesel. C'est à Augsbourg, en effet, que se sont faits tous les essais et que se sont créés tous les types de cette machine. Nous n'insisterons pas sur le moteur Diesel, qui a été décrit précédemment.

Rouart (Henri), constructeur, à Montluçon (Allier).

Cette maison a été mise hors concours, M. Rouart (Henri) étant expert du Jury. Cette maison a commencé, dès 1871, l'exploitation des moteurs *Bischop* (fig. 1), qu'elle exploite encore pour les petites puissances de 6 kilogrammètres à un cheval.

En 1883, elle mit en exploitation les nouveaux moteurs *Lenoir* (fig. 2 et 32), à compression, à gaz ou à essence, à un, deux ou quatre cylindres horizontaux, destinés à des applications fixes, à des locomobiles ou pour bateaux. Puis des types de moteurs verticaux ou horizontaux, dérivant du moteur Lenoir.

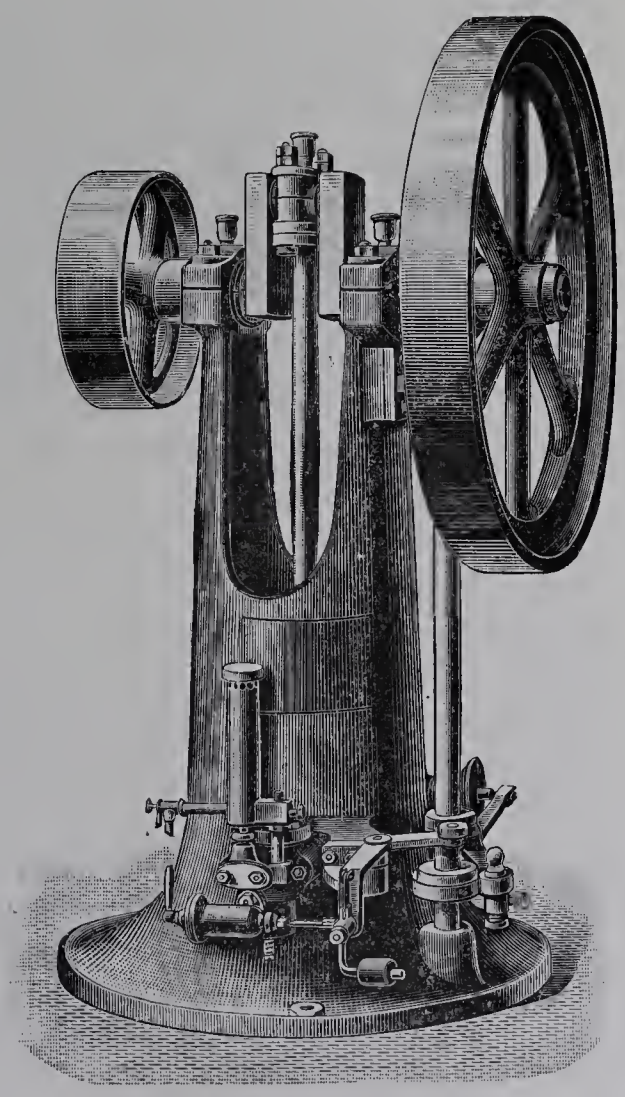


Fig. 33. — Moteur Rouart à gaz.

Tous ces types de machines étaient représentés, savoir : un moteur Bischop de 12 kilogrammètres, du type primitif vertical, à glissière, à distribution par tiroir cylindrique, à refroidissement par ailette *sans compression* (fig. 1); deux moteurs Lenoir, le premier, de 2 chevaux à un cylindre,

le second de 25 chevaux à deux cylindres (fig. 32) : la culasse à refroidissement, au moyen d'ailettes; la glissière, le régulateur par tout ou rien, la distribution par soupapes, l'allumage électrique, sont les caractéristiques de ces moteurs.

Quant aux nouveaux modèles exposés, ils comprenaient un type vertical à gaz de 2 chevaux (fig. 33) et un modèle à pétrole lampant (fig. 34). Ces dernières machines sont sans glissière; l'allumage se fait par tube incandescent, la distribution par soupapes, et le refroidissement par eau.

GRANDS PRIX.

Société française des moteurs à combustion intérieure, à Bar-le-Duc.

Cette société est propriétaire des brevets Diesel pour la France. Elle construit elle-même ces moteurs ou donne des licences d'exploitation. À l'heure actuelle, les licenciés sont les suivants :

Compagnie française des moteurs à gaz à Paris, licence générale de construction:

Farcot frères, à Saint-Ouen, licence pour moteurs supérieurs à 50 chevaux avec limite d'exploitation;

Sautter Harlé, à Paris, licence pour moteurs destinés à la marine avec limite d'exploitation.

Nous avons déjà eu l'occasion de décrire les principes du moteur Diesel, en nous occupant du modèle exposé par la Compagnie française des moteurs à gaz. Nous ne reviendrons donc pas sur les principes de cette machine qui sont toujours les mêmes, quelques petits détails de construction étant simplement apportés par ses divers constructeurs.

La Société Diesel avait exposé à Vincennes un moteur à deux cylindres de 40 chevaux, un moteur à un cylindre de 20 chevaux et un moteur à un cylindre de 15 chevaux.

Elle a obtenu pour son exposition le grand prix, c'est-à-dire la plus haute récompense, les autres constructeurs du moteur Diesel étant hors concours.

À titre de renseignement, voici les résultats très intéressants obtenus par un moteur Diesel, le 9 octobre 1899 : diamètre du cylindre, 260 millimètres; course, 410 millimètres; diamètre de la pompe, 85 millimètres; course, 205 millimètres; nombre de tours moyen par minute, 167; combustible, pétrole Desmarais; poids spécifique, 800; consommation à l'heure, 4 kilogr. 100; puissance effective, 19,42 chevaux; consommation par cheval-heure effectif, 211 grammes.

Société anonyme John Cockerill, à Seraing (Belgique).

Cette société exposait, fonctionnant au gaz de ville, mais destiné à être alimenté par des gaz de haut fourneau, le fameux moteur de 1,000 chevaux au gaz de ville, 800 au gaz pauvre, 700 au gaz de haut fourneau qui était exposé accouplé à une machine soufflante destinée au service des hauts fourneaux.

Ce moteur est du système Delamare-Debouteville, dont les concessionnaires français, pour les forces supérieures à 60 chevaux, sont MM. Schneider et Cie. La Société anonyme Breitfeld et Cie, à Prague, possède la licence austro-hongroise, tandis que la Société alsacienne de constructions mécaniques à Mulhouse (Alsace), et la Marhische Maschinenbrau-Anstalt, à Wepter-sur-le-Ruhr (Westphalie), ont acquis les concessions pour l'Allemagne.

Fig. 35. — Moteur Delamare-Cockerill de 600 chevaux avec soufflerie.

Ce moteur est d'invention et d'application anciennes, puisqu'il était exploité en France antérieurement à l'Exposition de 1889 sous le nom du moteur Simplex. Dès 1895, M. Delamare-Debouteville avait appliqué son moteur pour la marche au gaz de hauts fourneaux, et les essais tentés avec un moteur de huit chevaux donnèrent des résultats satisfaisants constatés dans un rapport fait par M. Hubert, ingénieur en chef des mines. Ce rapport est le premier document officiel sur l'application pratique des gaz de hauts fourneaux qui soit connu.

Un moteur de 200 chevaux fut alors installé et expérimenté par MM. Witz et Hubert en 1898. Cette installation fonctionne encore à l'heure actuelle d'une façon satisfaisante. Les forces de 600, 1,200 et 2,500 chevaux ont été abordées; le premier modèle de 600 chevaux à un cylindre a été installé en 1899 et a fait l'objet d'expériences devant un comité composé d'ingénieurs, sous la direction de M. Hubert. Les résultats ont été les suivants :

Moteur. — Diamètre du cylindre, 1 m. 300; course du piston, 1 m. 400; diamètre de la tige du piston, 0 m. 244; diamètre de l'arbre, 0 m. 460; hauteur du moteur au-dessus du sol, 4 mètres; longueur totale, 11 mètres; largeur totale, 6 mètres;

compression normale. 9 kilogr. 500; poids, 127 tonnes (dont 33 tonnes pour le volant).

Machine soufflante à double effet. — Diamètre du cylindre, 1 m. 700; course du piston, 1 m. 400; diamètre de la tige du piston, 0 m. 244; hauteur totale au-dessus du sol, 4 mètres; longueur totale, 5 m. 500; largeur totale, 3 m. 500.

Ensemble de l'appareil. — Hauteur au-dessus du sol, 4 mètres; longueur totale, 16 m. 500; largeur, 6 mètres; poids total, 158 tonnes.

Essai du 20 mars 1900. — Puissance indiquée en chevaux, 786,16; puissance effective en chevaux, 575; rendement organique, 73,14 p. 100; nombre de tours moyen à la minute, 94, 37; nombre d'admissions moyen par minute, 41,90; consommation par cheval-heure indiquée en gaz, 2 m. c. 556; consommation par cheval effectif, 2 m. c. 495; consommation d'eau par cheval effectif, 69 lit. 50; température moyenne de l'eau à l'entrée, 7°86; à la sortie, 33°17; température moyenne du gaz à l'entrée, 9 degrés; à la sortie, 508°5; puissance calorifique du gaz, 994,4 calories à 9° à 760°; rendement thermique : travail indiqué, 25.25 p. 100; travail effectif, 18.46 p. 100.

Ce moteur est le plus gros qui ait jamais été construit. La réputation et de ses constructeurs et de son inventeur, les résultats fournis avec du gaz de haut fourneau en particulier, lui ont fait attribuer avec juste raison un grand prix.

Ce moteur se signale par quelques détails de construction au sujet desquels il est bon de dire quelques mots.

Le moteur et la machine soufflante sont placés l'un derrière l'autre, en tandem, les deux pistons étant reliés par une tige unique qui traverse la culasse du moteur et le cylindre de la machine soufflante de part en part : la machine soufflante tient ainsi lieu de glissière. Le moteur est à un cylindre horizontal fixé sur une plaque de base portant également de robustes paliers moteurs, le cylindre et ces paliers étant reliés entre eux par quatre forts tirants en acier. La distribution se fait par soupapes; l'admission est opérée par trois soupapes commandées en même temps par cames et par leviers, leur levée pouvant être réglée à volonté par des butées mobiles et la butée commandant la soupape à gaz étant, elle, soumise à un mécanisme de détente commandé par régulateur de façon à doser à volonté le mélange. L'allumage est électrique; le refroidissement par eau, non seulement dans la chemise du cylindre, mais encore dans la tige du piston et dans ce dernier. L'arbre de distribution, parallèle à l'arc du cylindre, tourne deux fois moins vite que l'arbre moteur. Commandé par celui-ci au moyen de roues à denture hélicoïdales, il actionne cames, graisseurs, etc.

Crossley brothers limited, Manchester.

Les célèbres concessionnaires anglais du moteur «Otto», Crossley brothers, à Manchester, ont obtenu un grand prix, que justifient largement la réputation des machines construites par leur maison et les perfectionnements apportés aux moteurs à gaz par les soins de ses ingénieurs.

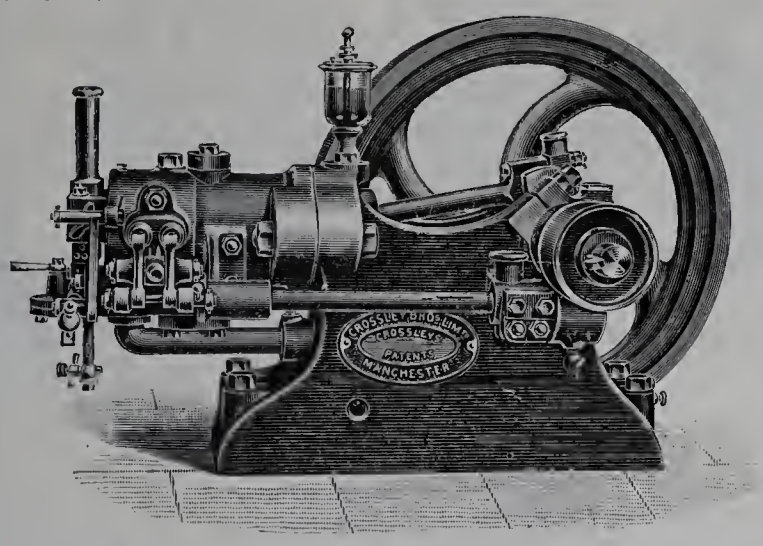


Fig. 36. — Moteur Crossley (régulateur perpendiculaire).

Cette maison exposait cinq moteurs à gaz de 1, 8, 12, 17, 32 chevaux.

Il existe de nombreux modèles de moteurs Crossley, tant verticaux qu'horizontaux (fig. 36, 37, 38, 39), à un ou plusieurs cylindres, marchant au gaz d'éclairage, au gaz pauvre, au pétrole, etc.

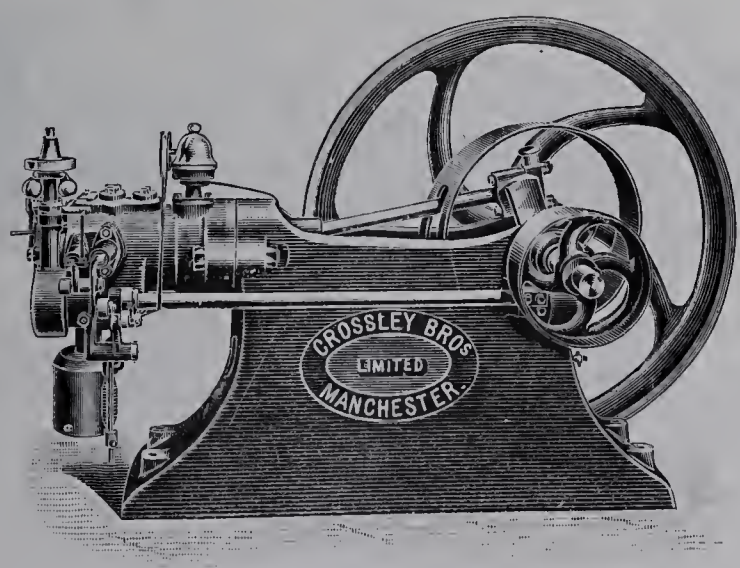


Fig. 37. — Moteur Crossley (régulateur à boules).

Cependant MM. Crossley brothers s'intéressent plus particulièrement aux moteurs horizontaux à un cylindre alimentés au gaz d'éclairage ou au gaz Dowson.

Les moteurs verticaux sont à cylindre à la base et destinés seulement aux très petites forces ne dépassant pas 4 chevaux. Les moteurs horizontaux, eux, sont à cylindre en porte à faux sur le bâti et rapportés à celui-ci. Le cylindre proprement dit est rapporté

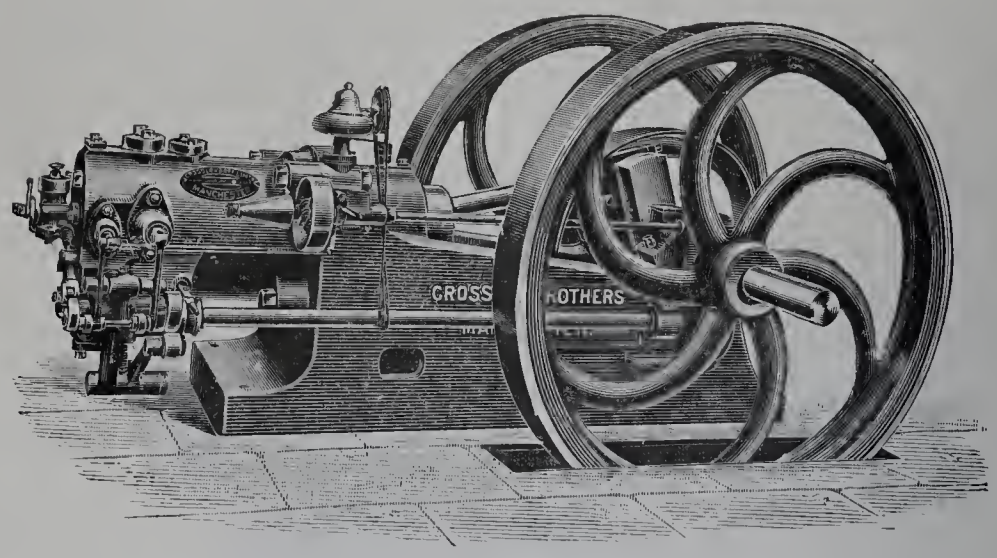


Fig. 38. — Moteur Crossley.

lui-même dans la chemise. La distribution se fait par soupapes commandées, l'allumage par tube incandescent, et le réglage par tout ou rien, en agissant sur la soupape à gaz. Le régulateur d'inertie est pendulaire pour les petites machines, à boules centri-

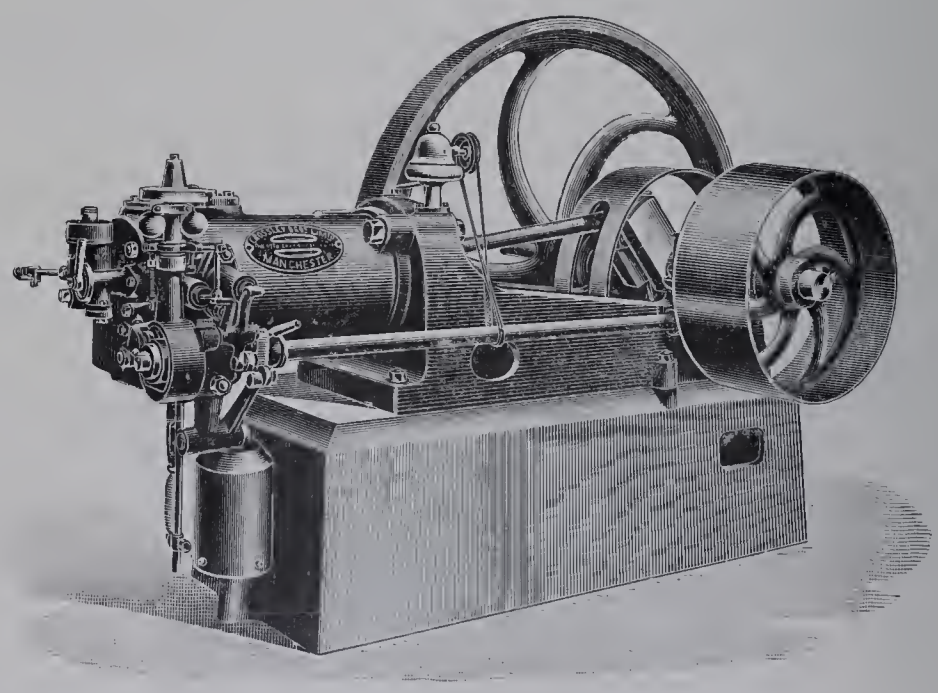


Fig. 39. — Moteur Crossley.

fuges pour les grosses. L'allumage se fait par tube en porcelaine vertical ouvert aux deux extrémités, à communication libre avec le cylindre pour les petites machines, commandée par un petit clapet pour les grosses. Le refroidissement est assuré par circulation

d'eau. La commande des organes divers se fait par l'arbre de distribution qui est parallèle à l'axe du cylindre et est commandé par l'arbre moteur au moyen de deux roues à denture hélicoïdale.

Dans les gros types de machines, les soupapes sont généralement horizontales, à siège amovible, à grosses tiges formant un excellent guidage, à régulateur horizontal, à arbre manivelle équilibré.

À signaler les dispositifs de mise en marche automatique des gros moteurs à l'aide d'une pompe à main refoulant la masse explosive dans de longs tubes et arrivant aux cylindres par l'intermédiaire d'une soupape placée au-dessus des cylindres et manœuvrable à la main par une manette.

La maison Crossley a fait une étude spéciale de moteurs pour lumière électrique. Ces moteurs sont à un seul volant très fort et à paliers extérieurs. Les poches à gaz employées par la maison Crossley sont constituées par une enveloppe métallique fermée, sur une des grandes faces, par une feuille de caoutchouc portant un clapet obturant l'arrivée des gaz lorsque le moteur aspire dans les poches. Les poches ainsi protégées sont facilement réparables et, de plus, l'action sur les becs de gaz avoisinants est supprimée.

Compagnie de Fives-Lille et Société anonyme des brevets des moteurs Letombe, rue de Londres, 21, à Paris.

La Compagnie de Fives-Lille construit exclusivement pour la France les moteurs Letombe pour le compte de la Société des moteurs Letombe.

Ces deux établissements réunis ont obtenu un grand prix pour l'exposition de leurs moteurs et gazogènes établis en commun. Au Champ-de-Mars fonctionnait un moteur Letombe au gaz d'éclairage et à Vincennes un moteur Letombe alimenté par un gazogène Letombe.

Le moteur Letombe possède des particularités intéressantes. Le but que s'est proposé son inventeur est de réaliser une économie dans la consommation et d'assurer une régularité parfaite dans le fonctionnement, tout en ayant de grandes puissances sous un volume réduit.

Pour réaliser l'économie, Letombe complète la détente en détendant les produits de la combustion dans un volume de cylindre supérieur au volume de mélange admis, tout comme dans le moteur Charon, mais, dans son moteur, l'économie est obtenue, d'une manière très différente, au moyen d'un nouveau procédé de réglage qui consiste à opérer l'appauvrissement du mélange, à faible charge, mais par contre à augmenter la compression au fur et à mesure de cet appauvrissement; de façon à assurer une détente prolongée et une marche parfaite, tout à la fois.

Ce réglage est obtenu à l'aide d'une soupape d'admission de mélange automatique, d'une soupape à air commandée et d'une soupape à gaz pouvant être soumise à l'action de la soupape à air. Cette soupape à air est pour cela placée sous la soupape

à gaz qu'elle peut actionner, et son dessous communique avec le dessous de la soupape d'admission de mélange par une chambre intermédiaire. Cette soupape à air est, en somme, la soupape de réglage de la machine et c'est elle, en effet, qui, équilibrée, est aisément soumise à l'action du régulateur. En fait, c'est le galet du levier d'attaque de cette soupape qui est mobile et peut se déplacer, sous l'action du régulateur, devant une came à gradins doubles dont certains, de longueur augmentant au fur et à mesure que la vitesse augmente, sont destinés à ouvrir seuls la soupape d'admission d'air plus ou moins longtemps, et dont d'autres, superposés, de hauteur variable, permettent de soulever un peu plus cette dite soupape pour lui permettre d'agir sur la soupape à gaz.

La hauteur de ces gradins supplémentaires diminue au fur et à mesure de la longueur des gradins inférieurs. Dans ces conditions, on voit que, normalement, à pleine charge, la soupape automatique d'admission s'ouvrira et laissera pénétrer une certaine quantité de mélange explosif, de proportions déterminées par la levée de la soupape à air et de la soupape à gaz. Mais cette admission ne se fera que pendant une partie de la course, la soupape d'air s'abaissant sur son siège avant la fin de la course.

Grâce à un gradin court de la came de commande, on aura ainsi admis un mélange de richesse déterminée, en volume moindre que le volume du cylindre, et on obtiendra à la fois une certaine compression et une détente prolongée. Si la charge du moteur diminue, la vitesse s'accélère, et le régulateur déplace le galet devant la came à gradins de telle façon que l'on admettra moins de gaz, la soulevée de la soupape à gaz étant moindre, le gradin à gaz étant plus bas; mais par contre le gradin à air étant plus long, il admettra un volume total plus grand que précédemment; il en résultera une compression supérieure qui assurera l'allumage et la détente, et le travail se trouvera à la fois réduit et par la surcompression utile et par la réduction de puissance explosive du mélange.

L'économie en gaz et en eau, ainsi que la régularité, résultent donc indubitablement de cet heureux dispositif. Les autres avantages revendiqués par la Société Letombe proviennent de la marche à double effet, ou même du groupement de moteurs à plusieurs cylindres, placés en tandem.

En fait, le moteur Letombe se construit soit à simple effet sans glissière, soit à double effet avec glissière, soit à triple effet en plaçant derrière le moteur à simple effet, jouant le rôle de glissière, un cylindre à double effet dont la tige traverse deux presse-étoupe et relie le piston des deux cylindres.

Le moteur Letombe est horizontal, à allumage électrique, régulateur à boules et refroidissement par circulation d'eau. La mise en marche est très facile, le volant est très petit, l'encombrement restreint.

Le gazogène Letombe est un gazogène à refoulement, genre Dowson, à insufflation d'air par ventilateur. Il est particularisé par une grille verticale derrière laquelle se trouve une porte de fermeture, la production de vapeur à l'aide d'eau qui coule dans un serpentin entourant la cuve du gazogène, se chauffe, arrive à l'état de vapeur au cendrier

en même temps que l'air, qui est envoyé dans ce serpentin par le ventilateur. Ce serpentin est noyé dans un bain de sable entourant la cuve et utilise ainsi les chaleurs perdues.

Japy frères et Cie, à Beaucourt (Territoire de Belfort).

La maison Japy est connue avantageusement pour la fabrication d'appareils de toutes sortes. Elle s'est mise récemment à construire un moteur dit *Le Succès*, fonctionnant au gaz, à l'essence ou au pétrole, fixe ou locomobile, seul ou combiné avec pompe ou autres appareils.

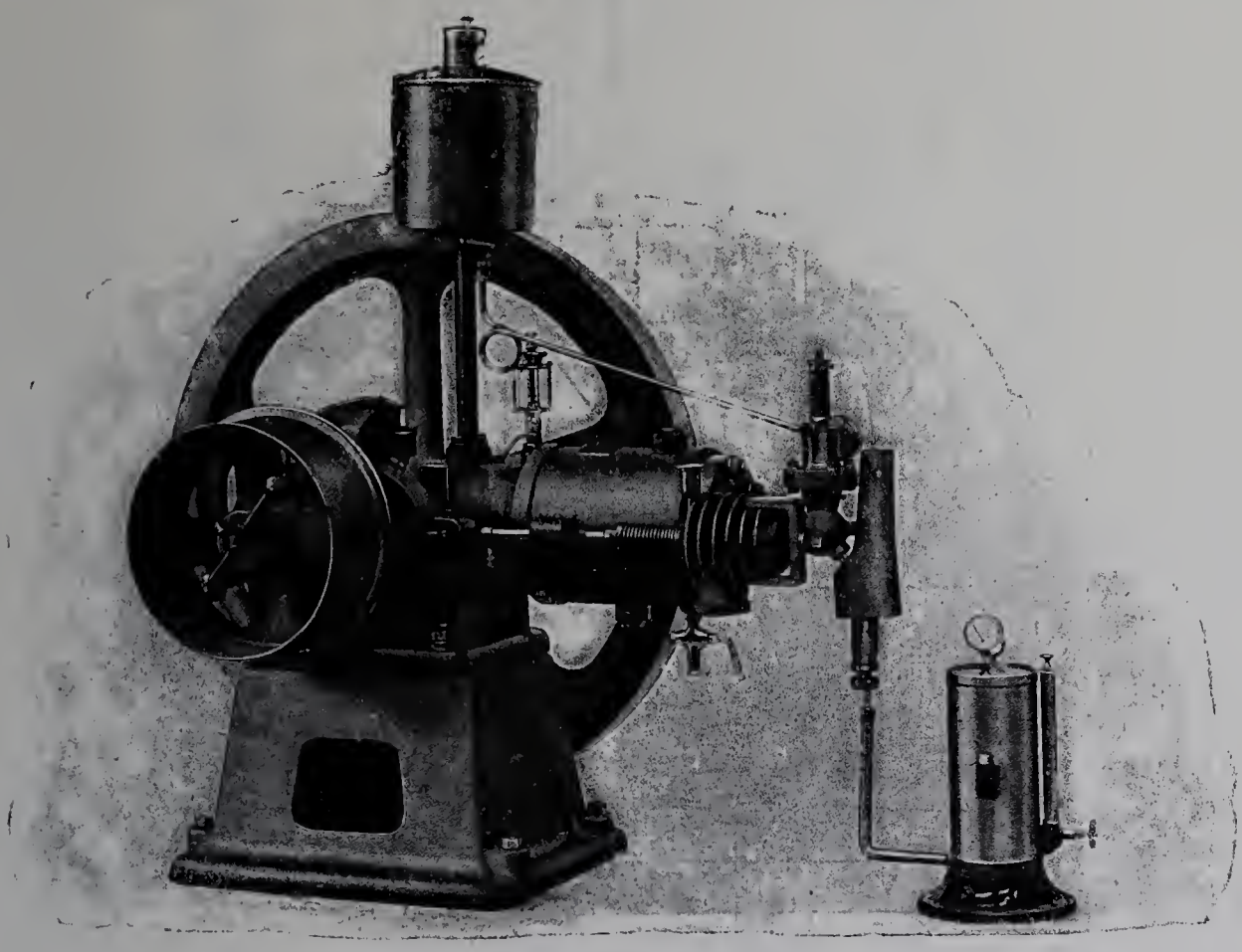


Fig. 40. — Moteur Japy à pétrole.

Le moteur à pétrole ordinaire (fig. 40 à 43) est horizontal, à simple effet, sans glissière, à un cylindre en porte à faux sur le bâti : la distribution se fait par soupapes, le refroidissement par eau, l'allumage par tube incandescent. La soupape d'admission est automatique et commande en même temps l'admission de pétrole en charge venant d'un réservoir. Le mélange passe au travers d'une boule portant le tube d'allumage chauffé par un bec à pétrole, s'y vaporise et se rend ensuite au cylindre. La soupape d'échappement est commandée par une came calée sur un arbre intermédiaire parallèle à l'arbre moteur, tournant deux fois moins vite que lui et recevant son mouvement par roues dentées droites. La soupape d'échappement est horizontale et

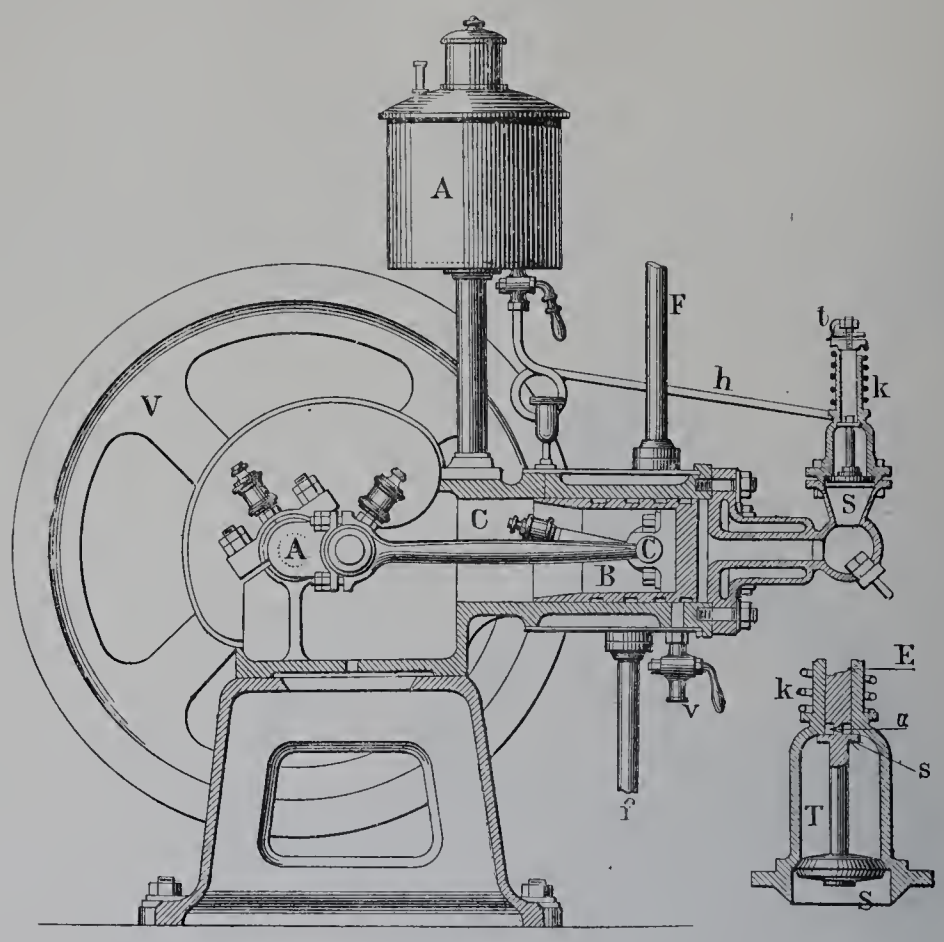


Fig. 41. — Moteur Japy à pétrole (coupe longitudinale).

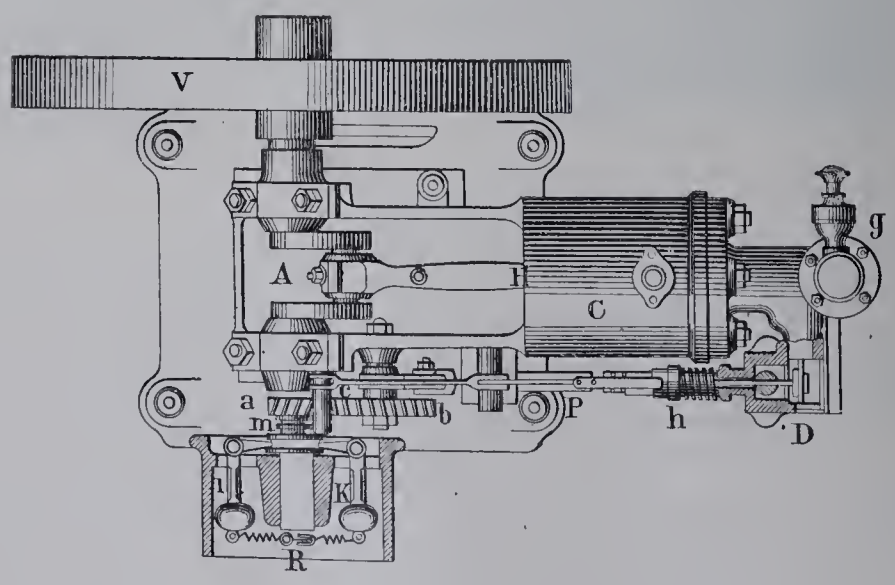


Fig. 42. — Moteur Japy à pétrole (vue en plan).

l'action se fait directement. La régulation s'opère par tout ou rien en maintenant la soupape d'échappement ouverte à l'aide d'un doigt relié au régulateur à boules placé à l'extrémité de l'arbre moteur.

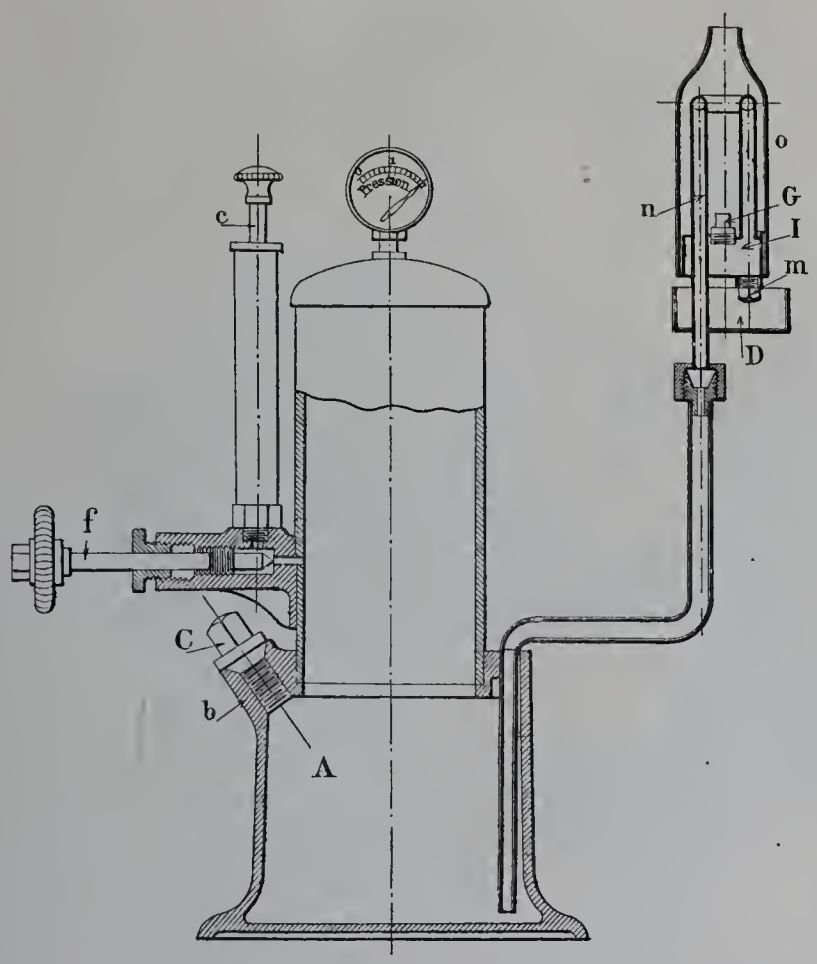


Fig. 43. — Moteur Japy à pétrole (lampe de chauffage).

Pour la marche à l'essence, la boule de vaporisation est supprimée et pour la marche au gaz, la soupape à gorge à essence est remplacée par une soupape portant un évidement par lequel pénètre le gaz.

MÉDAILLES D'OR.

Campbell gas engine C° limited, à Halifax.

La Société Campbell exposait un moteur à gaz de 40 HP, un moteur à pétrole lampant de 40 HP et un moteur à pétrole lampant de 3 HP.

Cette maison s'est distinguée depuis longtemps dans la construction des moteurs à pétrole, qu'elle établit sous forme de moteurs fixes, horizontaux ou verticaux (fig. 44, p. 64), et de moteurs verticaux applicables aux bateaux.

Le moteur Campbell ne comporte que deux soupapes : une d'admission automatique et une d'échappement commandée, soumise à l'action du régulateur, qui la laisse ouverte quand la vitesse est trop grande, réalisant ainsi le tout ou rien. Le pétrole en

charge arrive à la soupape automatique de pétrole et d'air, le mélange traverse un vaporisateur formé par une tubulure verticale en cul-de-sac et communiquant par

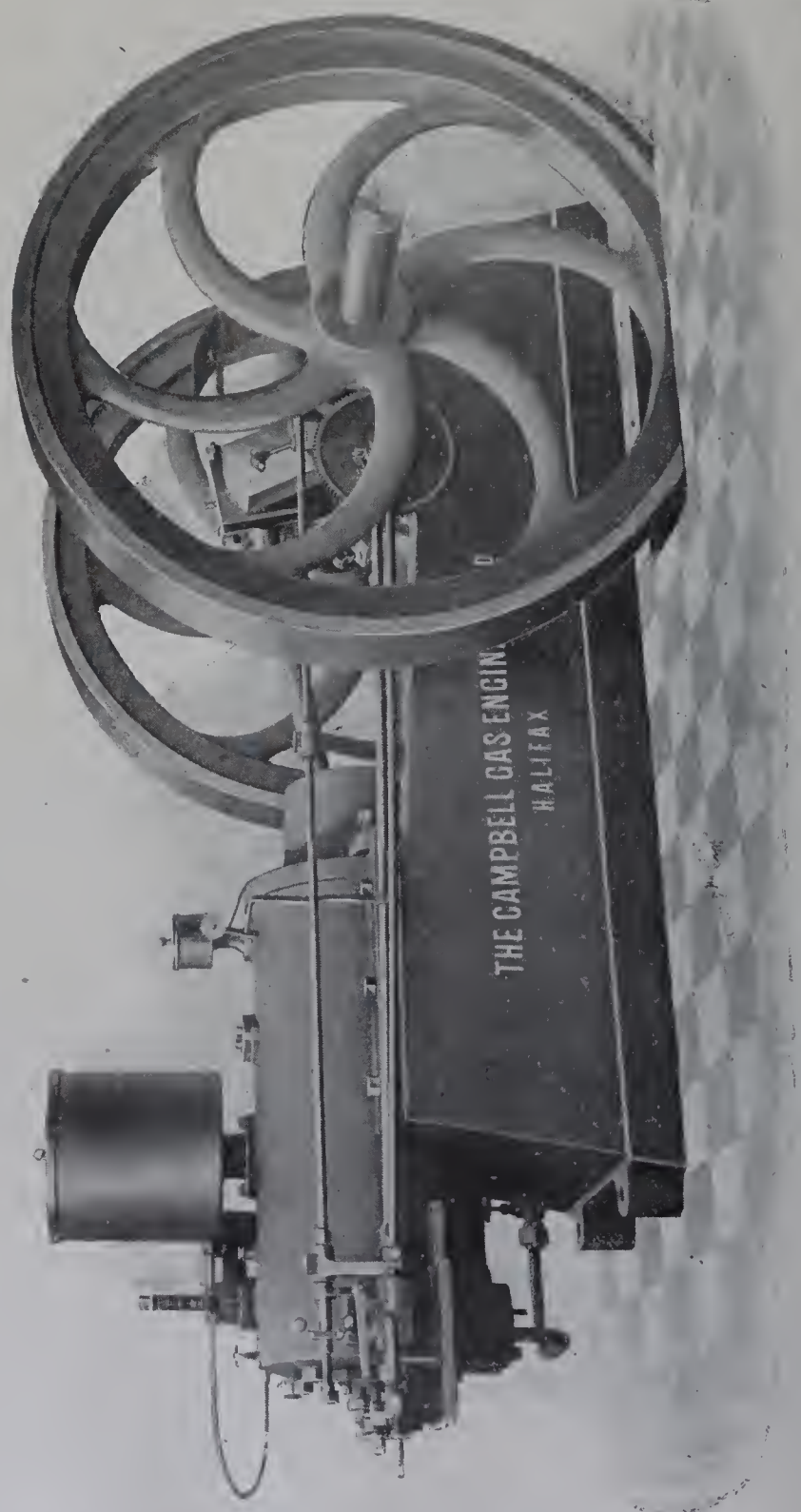


Fig. 44. — Moteur à pétrole Campbell (type fixe horizontal).

une conduite avec le cylindre. Ce vaporisateur est chauffé par un brûleur qui maintient également un tube en porcelaine, à clapet, au rouge. Le régulateur est à boules et le refroidissement par circulation d'eau.

Chavanet, Gros, Pichard et Cie, à Saint-Étienne (Loire).

Cette maison très importante, qui s'est fait une spécialité dans la construction des pièces détachées de cycles et d'automobiles, présentait des moteurs d'automobiles de petite force pour motocycles (fig. 45). Le moteur Automoto à essence se fait de quatre types de 2 HP 1/2, 2 HP 3/4, 3 HP 1/4, 3 HP 1/2.

Tous ces moteurs ne diffèrent entre eux que par les dimensions des organes. Ils sont du genre de Dion-Bouton, à grande vitesse, verticaux, à un cylindre, à simple effet, sans glissière, du type Pilon, montés sur un bâti clos, cylindrique, renfermant les plateaux-manivelles formant volant, où s'opère le graissage par barbotage. Le refroidissement est fait par ailettes, la distribution par soupapes superposées. La soupape d'admission est automatique; celle d'échappement commandée par came calée sur un arbre intermédiaire, parallèle à l'arbre moteur et actionné par celui-ci au moyen de deux roues dentées droites. L'allumage, électrique, par piles, bougie et bobine à trembleur mécanique, permet de régler la vitesse par l'avance à l'allumage. Le carter cylindrique et la culasse sont maintenus ensemble par tirants. Le dispositif de la soupape d'échappement permet de la soulever à la main pour faciliter le démarrage et refroidir le moteur dans les descentes, lorsqu'il marche à vide. La came d'allumage et le ressort du vibreur ont reçu une disposition spéciale. Le modèle du moteur destiné aux automobiles est particulier. Il est constitué par deux cylindres placés dans le prolongement l'un de l'autre, de diamètre différent, dans lesquels se déplace un piston unique double; celui d'avant tient lieu de glissière. Une bielle unique actionne l'arbre-manivelle : deux boîtes de distribution, l'une desservant le cylindre de petit diamètre, formant fond; l'autre, la partie annulaire comprise entre la paroi du grand cylindre et le petit piston formant le second cylindre. Le piston annulaire a une surface égale à celle du petit piston, les explosions se produisent entre chacun de ces cylindres tous les deux tours, soit en tout une fois par tour. On obtient ainsi un véritable moteur à double effet, à piston, bielle et arbre uniques; à glissière, de poids et de volume réduit, à marche régulière.

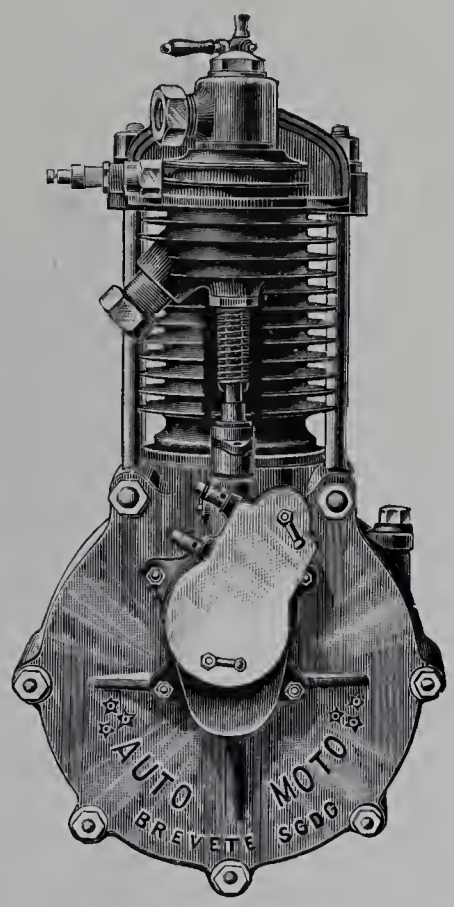


Fig. 45. — Moteur d'automobile de petite force pour motocycles de MM. Chavanet, Gros, Pichard et Cie.

Le moteur basé sur ce principe est vertical, à carter clos, distribution par soupapes, allumage électrique.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Compagnie Duplex, rue Lafayette, 130, à Paris.

Cette compagnie, qui n'a guère que six ans d'existence, a cependant pris une place importante sur le marché grâce à la qualité de ses produits.

Ses moteurs, jusqu'à ces derniers temps, étaient construits par la maison Cail, mais ils vont l'être sous peu par la compagnie elle-même dans des ateliers de construction à Ferrière-la-Grande (Nord).

La Compagnie Duplex exploite différentes spécialités : moteurs à gaz, à pétrole ou à gaz pauvre, à simple ou double effet, à grande ou petite vitesse, gazogène et un système de poche antifluctuatrice. Ces différents appareils étaient présentés à l'Exposition.

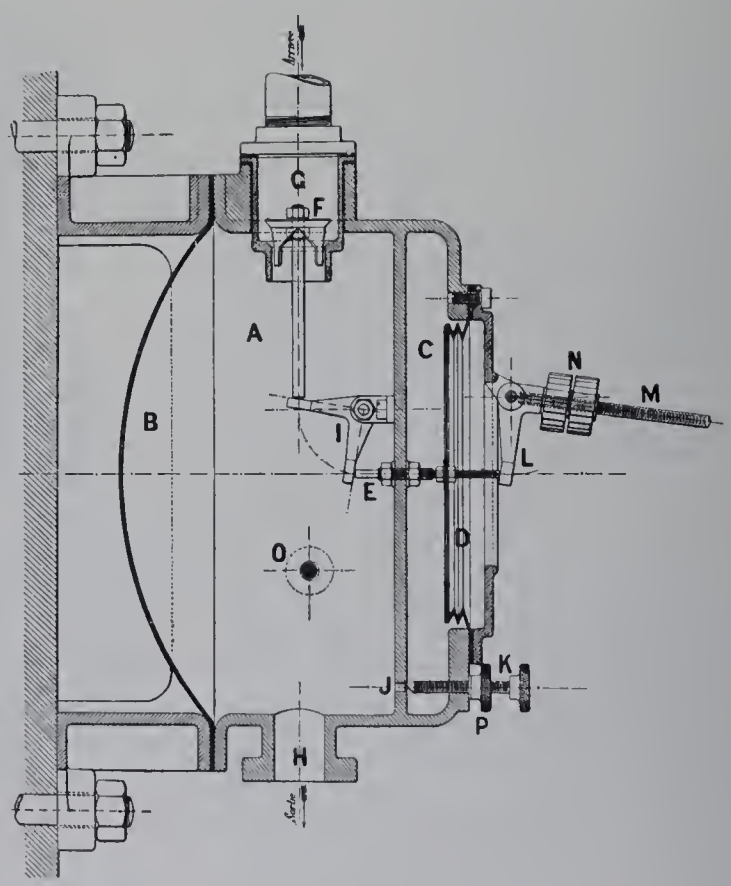


Fig. 46. — Antifluctuateur Duplex (coupe transversale).

L'antifluctuateur a pour but d'empêcher les oscillations de la flamme des becs voisins, de faciliter la mise en marche et le fonctionnement des moteurs et d'assurer une certaine économie en maintenant constante la pression la meilleure pour le moteur (fig. 46-47).

Cet appareil se compose d'un cylindre métallique fermé à l'arrière par un diaphragme en caoutchouc, à l'avant par un soufflet en caoutchouc et séparé en deux compartiments par une plaque métallique, ces deux compartiments communiquant par un orifice réglable réservé dans cette séparation.

L'arrivée du gaz et sa sortie sont fixées dans le compartiment fermé par le diaphragme. La sortie est libre, mais l'entrée est commandée par un clapet relié au fond du soufflet dont nous avons parlé. Ce soufflet est maintenu développé par un contrepoids réglable lorsqu'il maintient en même temps le clapet à gaz soulevé. Le tout est réglé de telle façon que, tant que la pression dans l'appareil est égale ou inférieure à celle voulue, le soufflet se trouve plus ou moins développé, le contrepoids plus ou moins soulevé, le clapet plus ou moins ouvert; mais dès que la pression augmente, le soufflet repoussé actionne à son tour et le contrepoids et la soupape à gaz, fermant ainsi toute communication, jusqu'à ce que la pression soit redevenue normale.

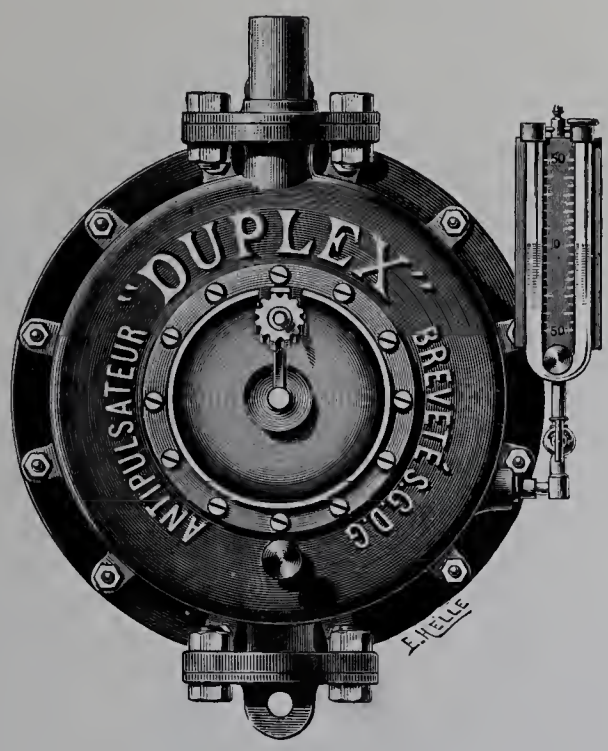


Fig. 47. — Antifluctuateur Duplex.

Le gazogène Duplex (fig. 48) est à refoulement d'air à l'aide d'un ventilateur ou d'une pompe. La pression de cet air est réglée par un antifluctuateur; cet air sous pression circule dans une enveloppe réservée autour de la cuve du gazogène, s'y réchauffe, passe à la surface d'une couche d'eau à haute température, contenue dans une sorte de chaudière formant la partie supérieure du gazogène, se charge de vapeur et se rend au foyer en traversant des tuyaux chauffés par le gaz sortant. Il en résulte une récupération avantageuse. Le niveau de l'eau, dans la chaudière, est maintenu constant au moyen d'un plongeur et d'une soupape. La trémie de chargement est mobile autour d'une charnière pour faciliter le décrassage. La grille est mobile et peut être manœuvrée de l'extérieur par une poignée.

Le moteur Duplex (fig. 49, 50, 51, 52 et 53), qui a donné son nom à la compagnie et qui n'est construit que pour les grandes puissances, est un moteur à détente

prolongée, à double effet, horizontal, à glissière, à distribution par soupapes, à allumage par tubes incandescents et à refroidissement par circulation d'eau.

Toutes les soupapes sont commandées par un arbre auxiliaire parallèle à l'axe du cylindre.

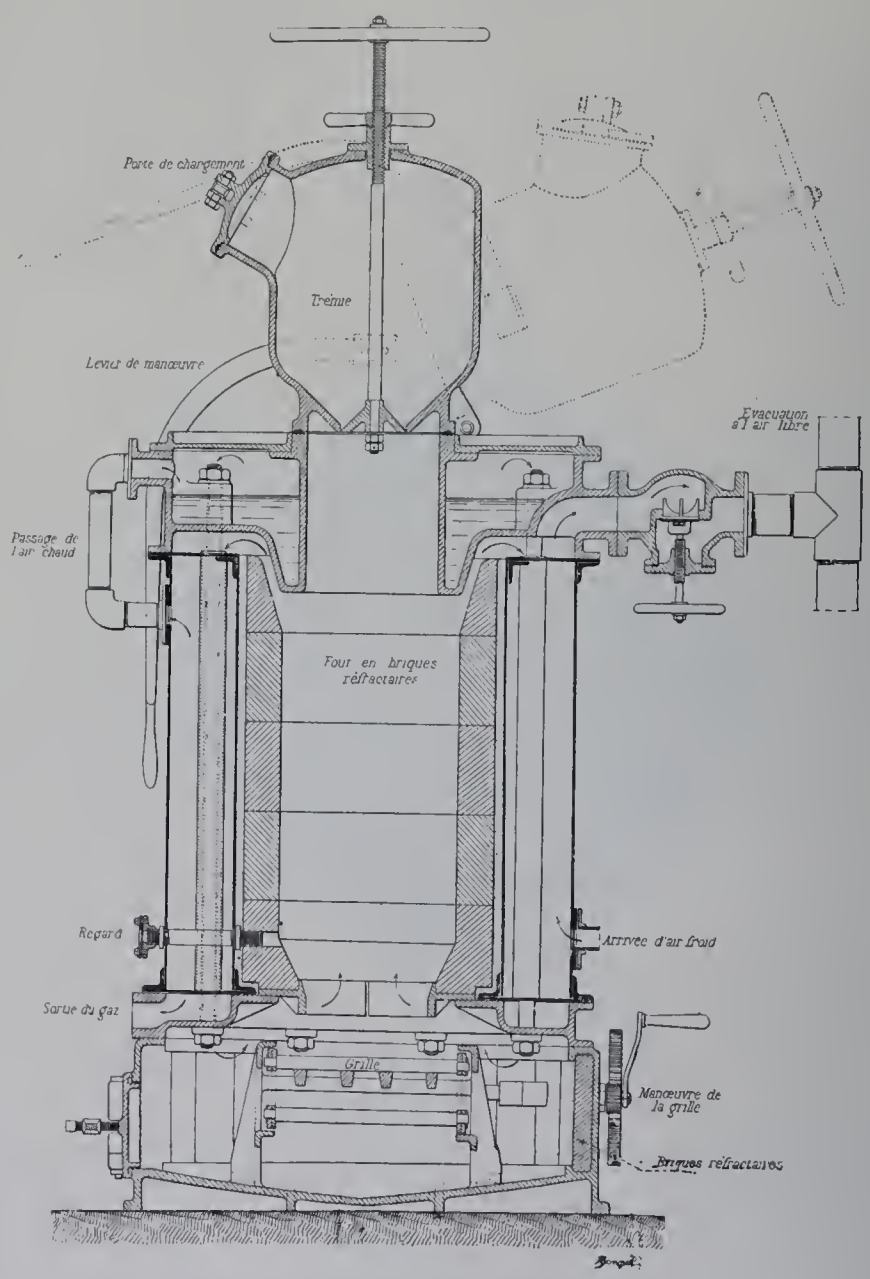


Fig. 48. — Gazogène Duplex (coupe transversale).

Le fonctionnement de ce moteur est le suivant. Supposons que le piston se trouve au point mort arrière, lors de la période d'admission à l'arrière. Partant en avant, il aspirera derrière lui le mélange explosif dont le cylindre se remplira. Revenant sur ses pas, au lieu de comprimer immédiatement ce mélange, il en refoulera au préalable la moitié dans la partie avant du cylindre où il se détendra, pendant que la compression se fera à l'arrière. L'explosion se produisant, le piston partira en avant, provoquant la compression du mélange explosif mis en réserve dans l'avant du cylindre. Ce mélange

explosera à son tour au point mort avant, renvoyant le piston qui, derrière lui, provoquera l'échappement, et ainsi de suite.

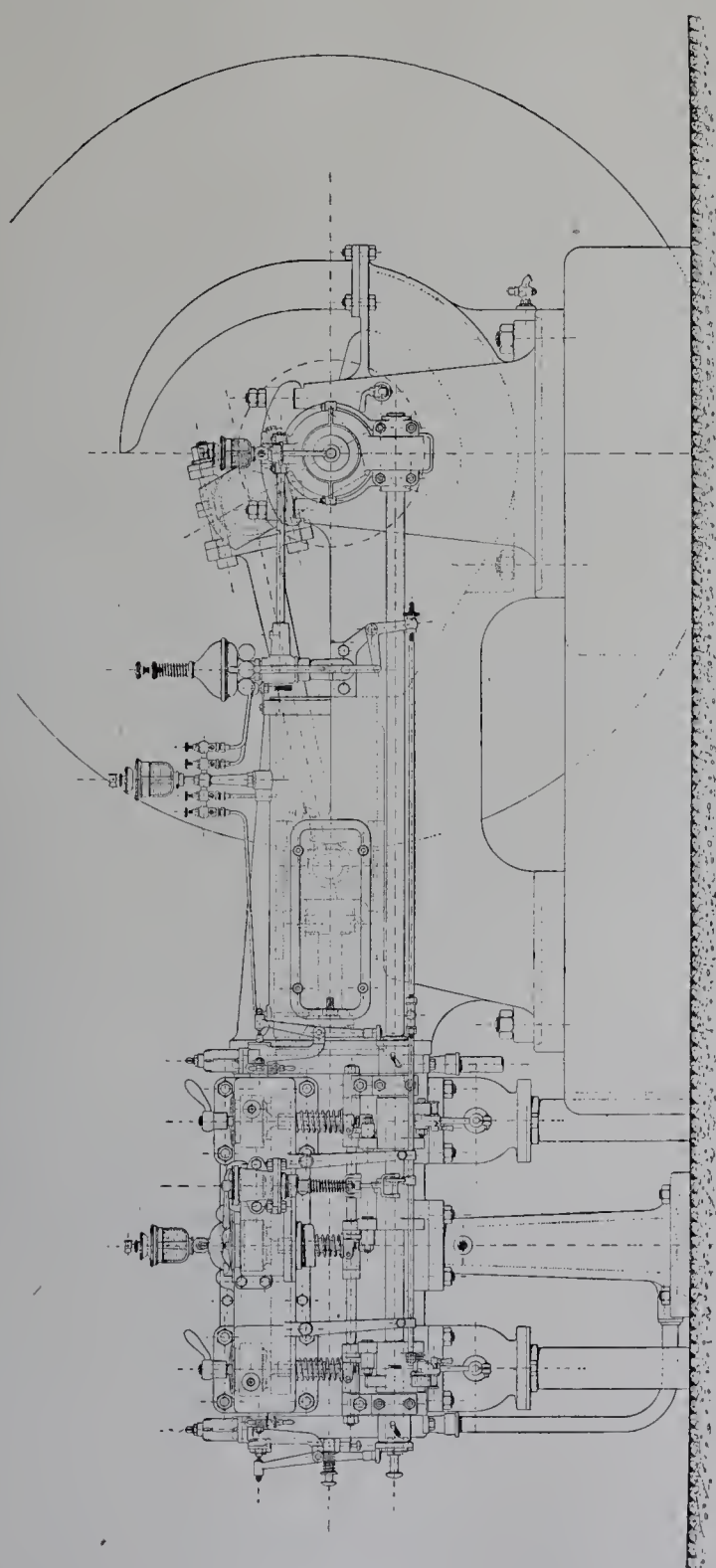


Fig. 49. — Moteur Duplex à double effet (élévation).

On voit que nous avons affaire à un véritable moteur à double effet, donnant deux explosions durant un tour, puis un tour sans en avoir; la détente étant prolongée très sensiblement, puisque les produits explosifs sont détendus dans un volume double de celui admis. Ce moteur est donc économique, de volume et de poids réduits.

Pour la fabrication courante, la Compagnie Duplex construit des moteurs à quatre temps, à simple effet, horizontaux, à un cylindre, à distribution par soupapes, allumage par tube, refroidissement par circulation d'eau, où l'on retrouve les dispositions et

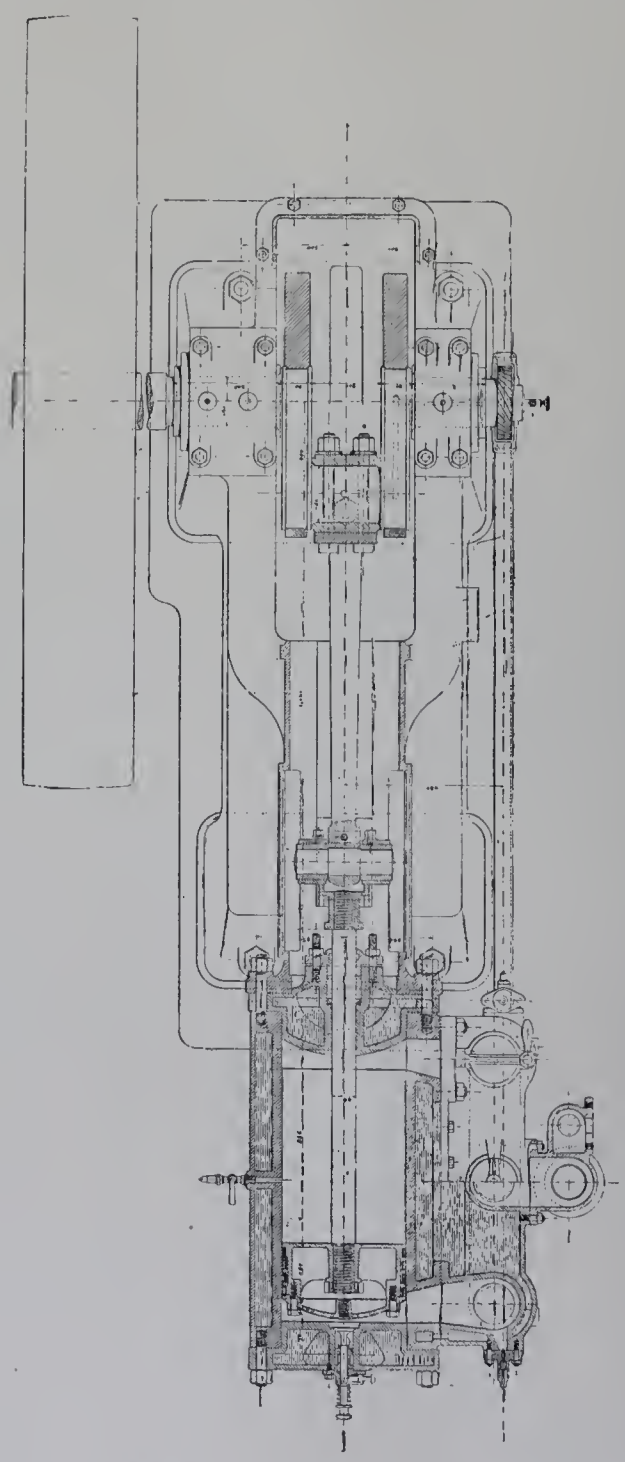


Fig. 50. — Moteur Duplex à double effet (coupe horizontale).

les détails des moteurs à double effet (fig. 54). Ces moteurs se font aussi au pétrole lampant, vaporisateur chauffé par brûleur maintenant le tube au rouge (fig. 55).

En outre, la Compagnie Duplex exposait un intéressant petit moteur à essence, à grande vitesse, vertical. Un cylindre simple effet, sans glissière, type Pilon, refroidisse-

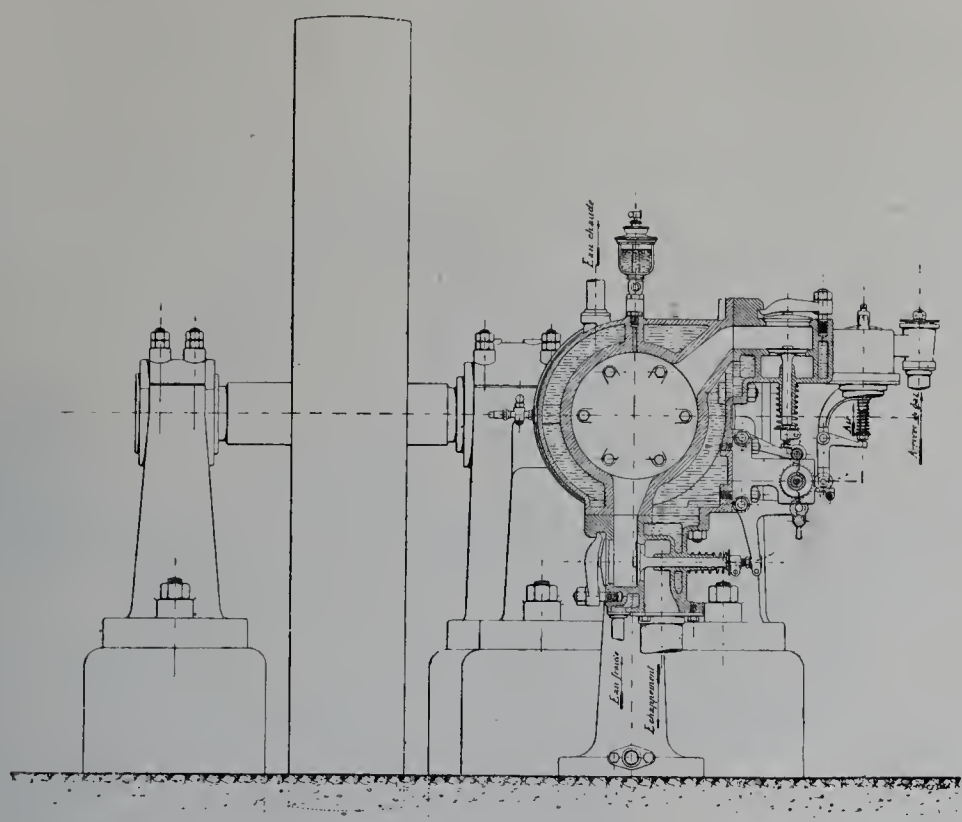


Fig. 51. — Moteur Duplex à double effet (coupe transversale).

Fig. 52. — Diagramme du moteur Duplex à double effet.

Fig. 53. — Diagramme du moteur Duplex à double effet.

ment par ailettes, carter clos opérant le graissage par barbotage. Le socle sert de réservoir à combustible, celui-ci étant envoyé au brûleur et au carburateur grâce à l'air

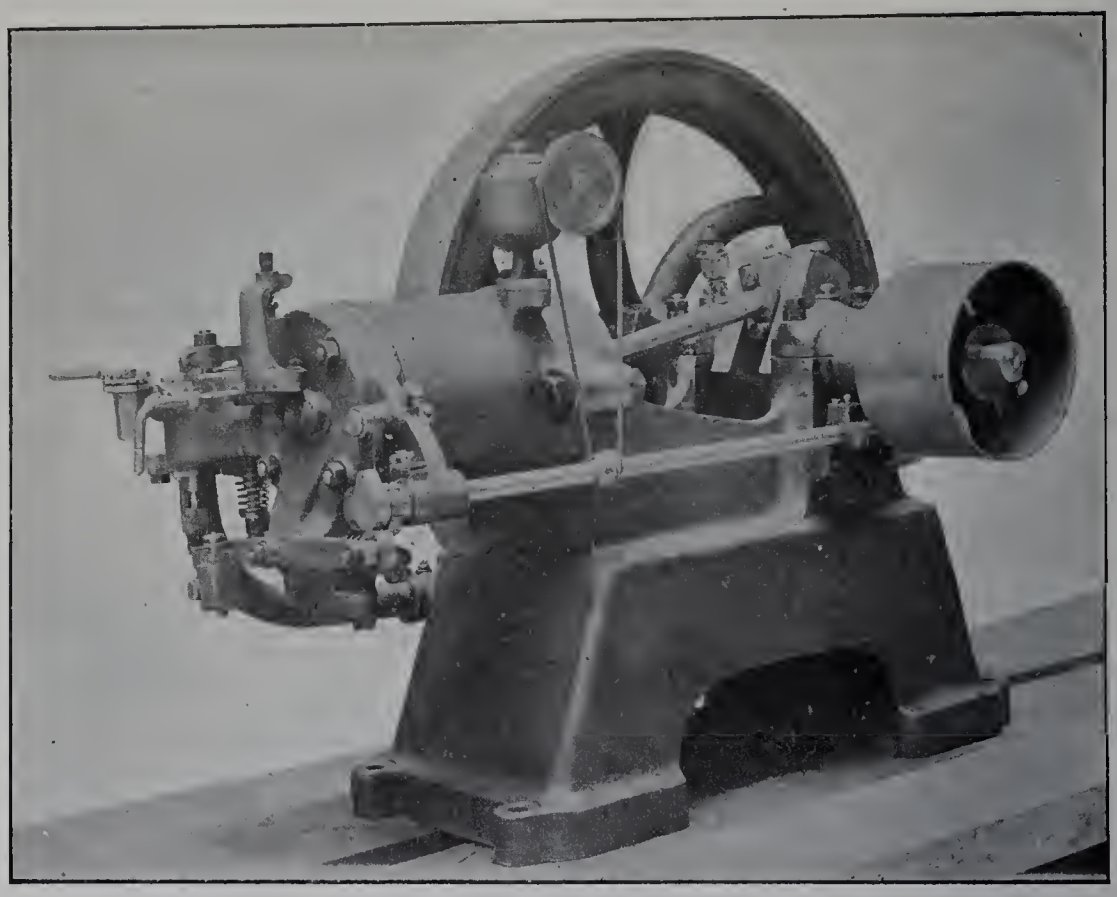


Fig. 54. — Moteur Duplex à gaz.

refoulé à sa surface par l'avant du cylindre, formant compresseur d'air. La soupape d'admission est automatique, celle d'échappement commandée tous les deux tours, le

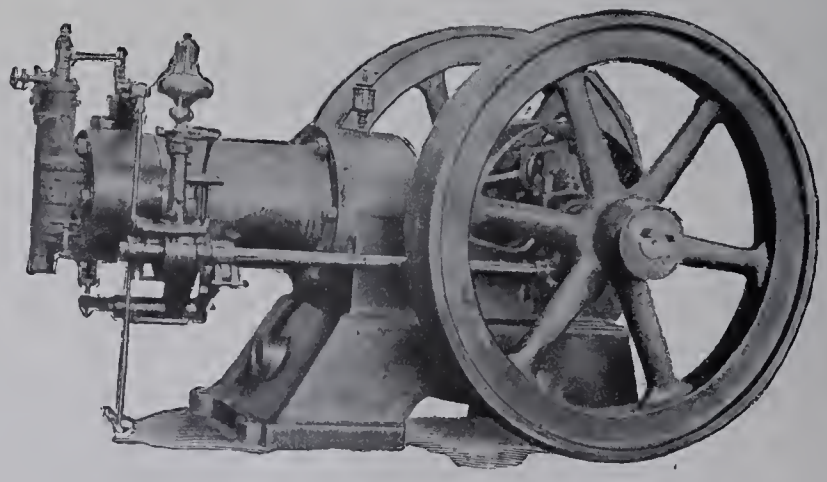


Fig. 55. — Moteur Duplex à pétrole.

moteur étant à quatre temps, quoique le mouvement de la came soit pris sur l'arbre moteur lui-même. Pour cela la came ne commande pas directement la touche action-

nant la soupape d'échappement, mais bien par l'intermédiaire d'une croix de Malte percée d'un trou de part en part et de deux trous borgnes perpendiculaires au premier. Lors de la période d'échappement la touche de commande de la soupape se trouvant en face d'un trou borgne, elle est commandée lorsque la came vient agir sur la croix de Malte. Une dent faisant corps avec la came fait tourner à chaque tour, d'un quart de tour, ladite croix de Malte. Un tour après, lors de la compression, quand la came viendra agir sur la croix de Malte, la touche de la soupape d'échappement se trouvera en face du trou diamétral, glissera dedans et cette dernière ne sera pas soulevée.

Compagnie des moteurs Niel, rue Lafayette, 22, à Paris.

La Compagnie des moteurs Niel exposait au Champ-de-Mars et à Vincennes une série de moteurs à gaz et à pétrole lampant.

Cette série comprenait depuis un type à distribution par robinet conique, modèle abandonné qui fut celui avec lequel la compagnie commença son exploitation. Ce moteur date de 1889 et eut à cette époque une médaille d'argent à l'Exposition universelle.

Depuis la distribution a été faite complètement par soupapes et des modifications ont été apportées aux nouvelles machines.

D'une façon générale les moteurs à gaz de cette maison sont horizontaux, à un cylindre en porte à faux sur le bâti, à simple effet, sans glissière, à soupapes d'admission, de mélange, d'arrivée de gaz et d'échappement toutes commandées. L'allumage est fait par tube incandescent, en porcelaine, le réglage par tout ou rien en agissant sur la soupape à gaz; le refroissement par circulation d'eau (fig. 56 et 57).

Pour les très petits modèles le régulateur est pendulaire et le tube est à communication libre.

Dans les moteurs plus puissants on trouve le modèle à robinet ou celui-ci est remplacé par des soupapes.

Le tube est alors à communication commandée par un clapet et le régulateur est constitué par une lame de ressort.

Les gros moteurs possèdent un régulateur à boules et un tube commandé.

Il existe en outre des types à deux cylindres accouplés.

Les moteurs à pétrole lampant se font dans les types verticaux ou horizontaux.

D'une façon générale ces moteurs sont à un cylindre, à simple effet, sans glissière, à distribution par soupapes, à réglage par tout ou rien, à refroidissement par eau.

Les moteurs verticaux sont du type pilon à bâti clos et munis d'un régulateur à masses, les moteurs horizontaux sont à cylindre, en porte à faux sur le bâti et comportent un régulateur à lame de ressort.

Dans toutes ces machines une pompe envoie le pétrole à une soupape pulvérisatrice

placée au sommet d'un vaporisateur communiquant avec la soupape automatique d'admission commandant le pulvérisateur.

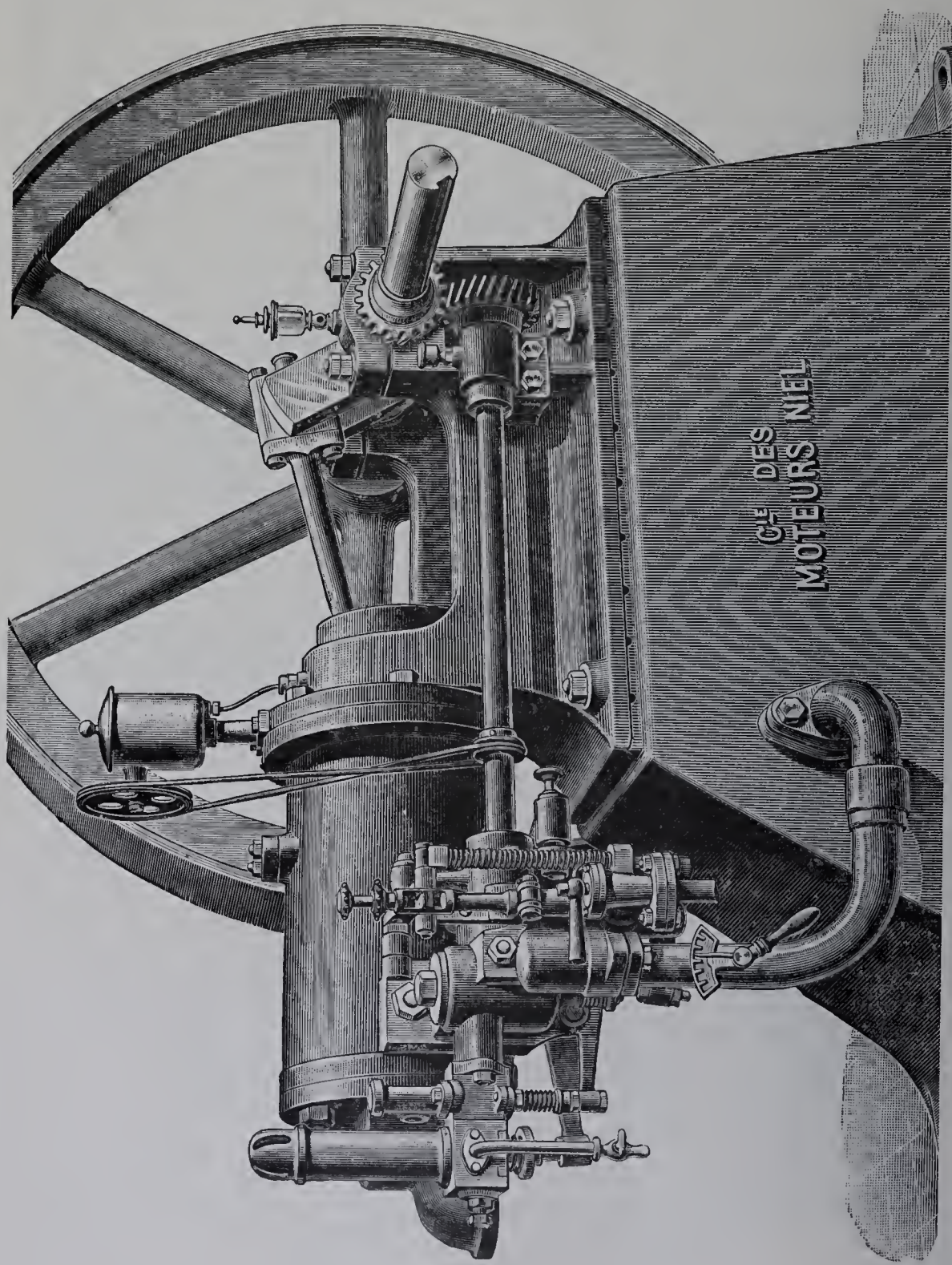


Fig. 56. — Moteur Niel à régulateur à ressort.

Le vaporisateur est chauffé avec un brûleur chargé de porter au rouge le tube d'allumage en porcelaine. Le régulateur agit en maintenant la soupape d'échappement sur son siège et en bloquant les appareils d'admission qui ne peuvent se lever.

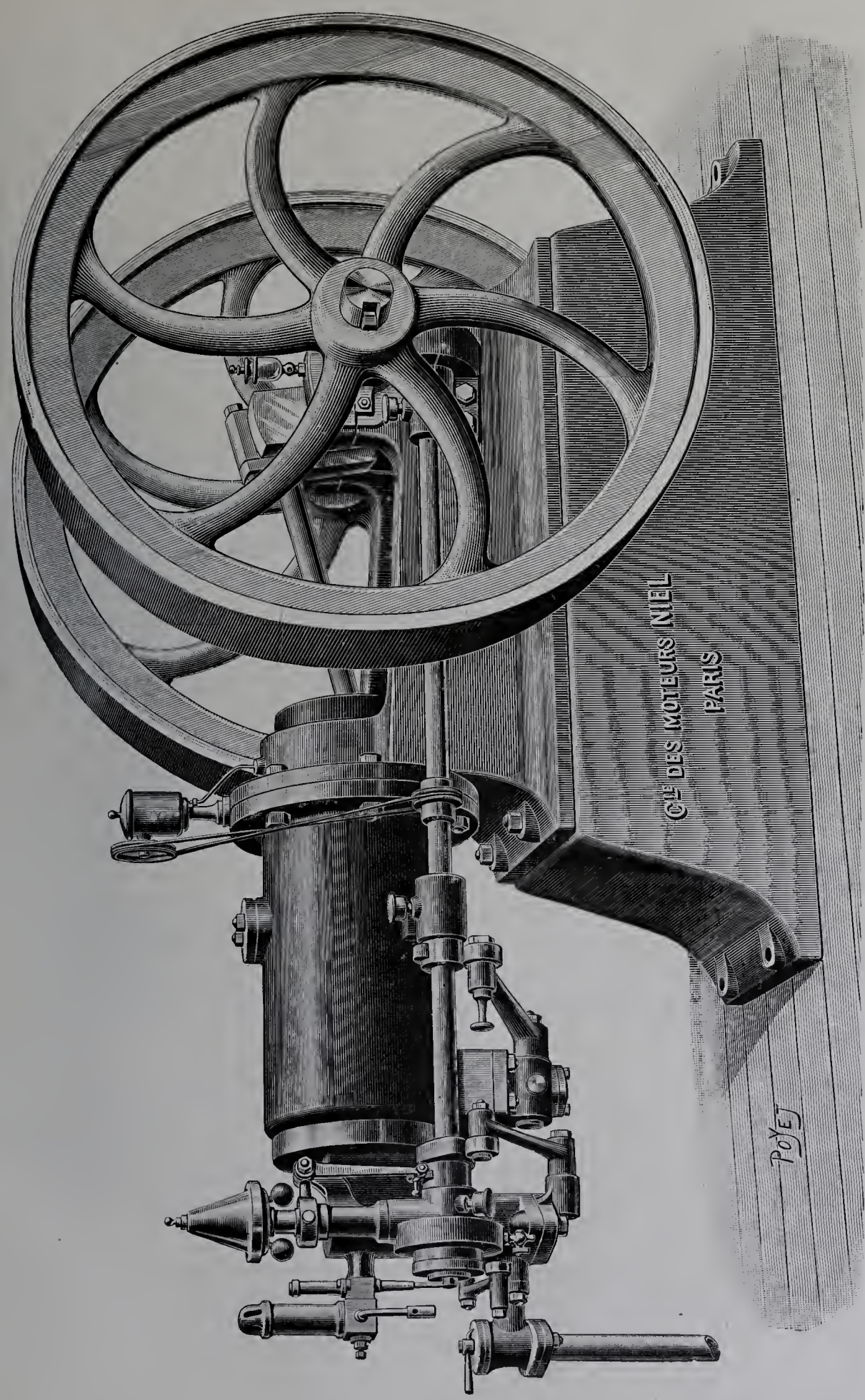


Fig. 57. — Moteur Niel à régulateur à boules.

Un modèle vertical est à vaporisateur enfermé, se maintenant chaud une fois le moteur en marche de façon à supprimer le brûleur et par suite les chances d'incendie.

La Compagnie Niel a appliqué ces moteurs à des locomobiles et à des battenses.

Ganz et Cie, Société anonyme de fonderie et fabrication de machines, à Budapest.

La maison Ganz, qui s'est fait une renommée pour les appareils électriques, fabrique aussi différentes machines parmi lesquelles le moteur à essence, système Banki, digne du plus haut intérêt. Cette machine n'a en apparence rien de bien particulier et on y retrouve d'une façon générale des organes déjà connus (fig. 58 à 64).

C'est un moteur vertical, du type Pilon, à cylindre unique à la partie supérieure, sans glissière. La distribution est faite par soupapes; l'allumage par tube incandescent, le refroidissement par circulation d'eau. Les soupapes d'admission et d'échappement sont superposées; celle d'admission est automatique, et celle d'échappement commandée par un excentrique, calé sur un arbre intermédiaire, actionné par l'arbre moteur, tournant deux fois moins vite que ce dernier grâce à un relais de deux roues dentées droites. Un régulateur à masses, fixé dans la grande roue dentée et maintenant la soupape d'échappement ouverte lorsque la vitesse est trop grande, réalise ainsi le tout ou rien. Pour plus de sûreté, un levier empêche la soupape d'admission de s'ouvrir, lorsque celle d'échappement est maintenue relevée par le régulateur. La mise en marche se fait automatiquement au moyen de gaz comprimé mis en réserve par le moteur lui-même.

Le carburateur à pulvérisation est à niveau constant, et double, c'est-à-dire pouvant débiter dans la conduite d'aspiration de l'essence et de l'eau.

Cette disposition est l'originalité du moteur Banki et son importance est très grande ainsi que nous allons le voir.

Nous avons dit précédemment, en parlant du moteur Diesel, que plus la compression d'un moteur est élevée, plus grande est son économie et meilleur est son fonctionnement. Mais que cette compression ne peut être poussée au delà d'une certaine limite, dépendant du mélange lui-même, limite au-dessus de laquelle une auto-inflammation nuisible se produirait.

Nous avons dit encore que cette auto-inflammation est due à la température dégagée par la compression, température augmentant avec la compression, et que l'auto-inflammation est surtout à craindre dans les mélanges explosifs à base de pétrole qui ne comportent pas normalement plus de 3 kilog. 500 à 4 kilogrammes de compression, d'où résulte une consommation d'environ 350 à 400 grammes en moyenne, suivant le pétrole employé.

Nous avons vu aussi précédemment que, dans le but d'obtenir les hautes compressions nécessaires à l'économie et à la bonne marche, sans craindre l'auto-inflammation, Diesel comprime l'air seul et y injecte le pétrole; sa compression peut atteindre ainsi 45 kilo-

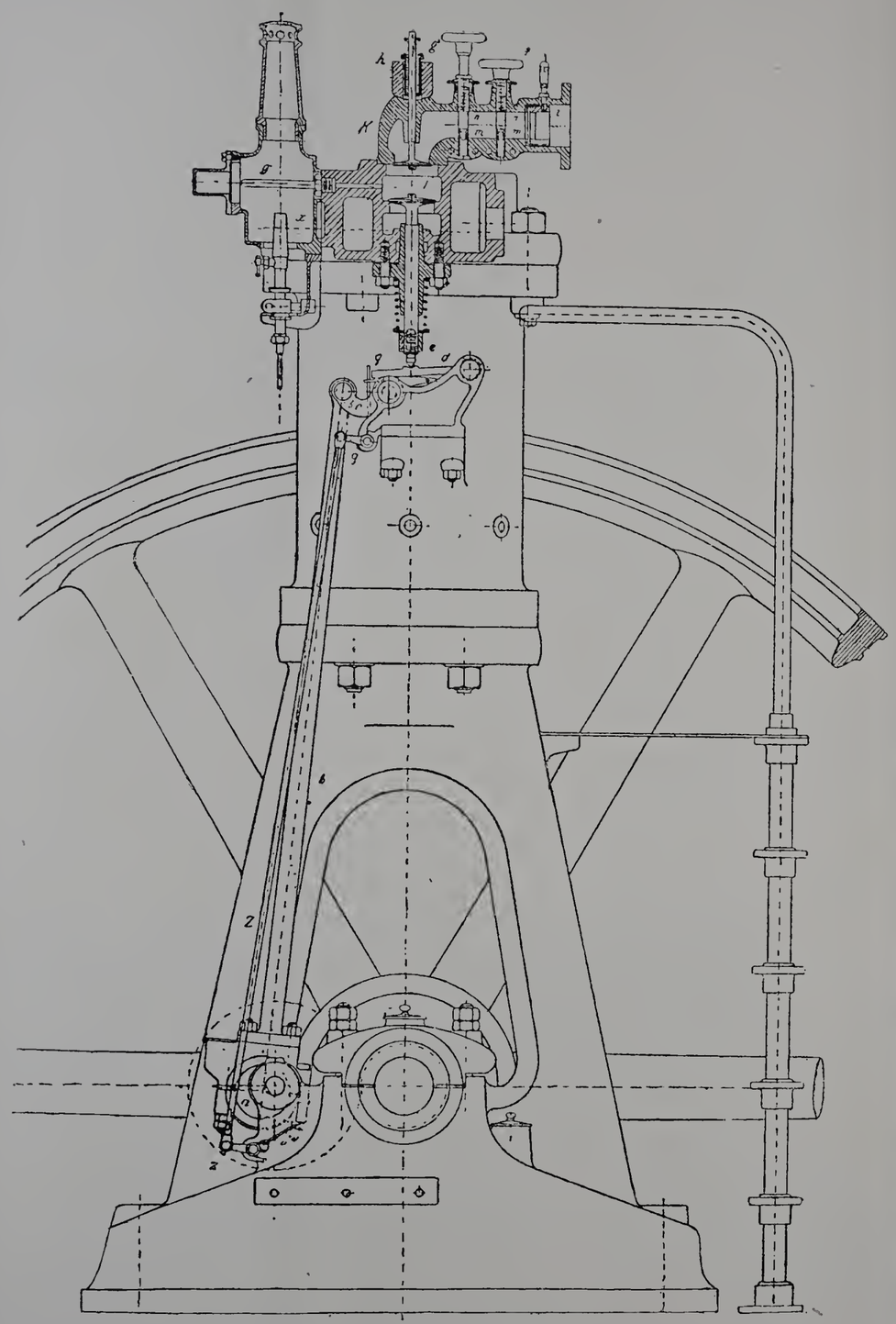


Fig. 58. — Moteur Banki (élévation latérale).

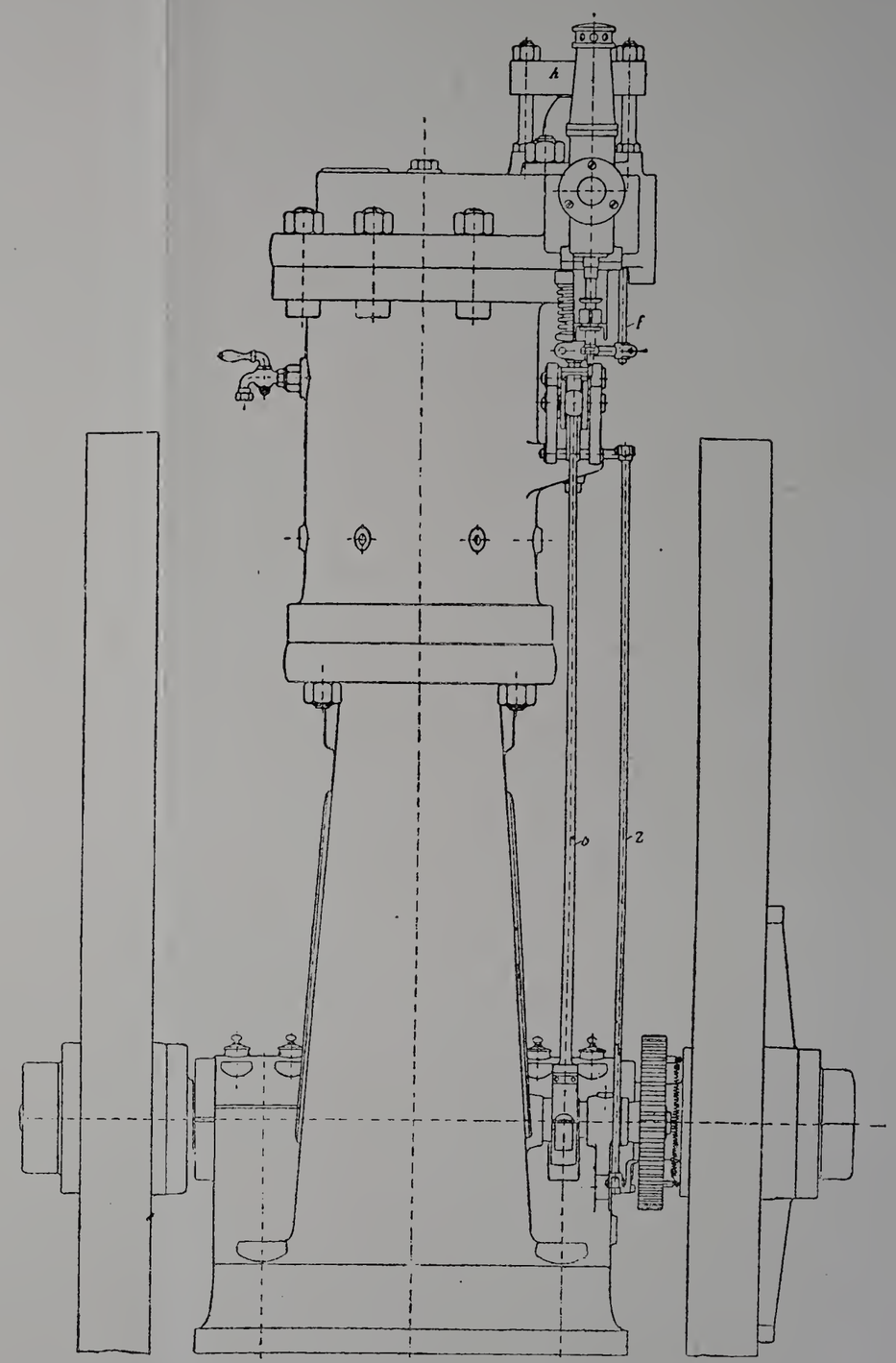


Fig. 59. — Moteur Banki (élévation longitudinale).

C. F. E.

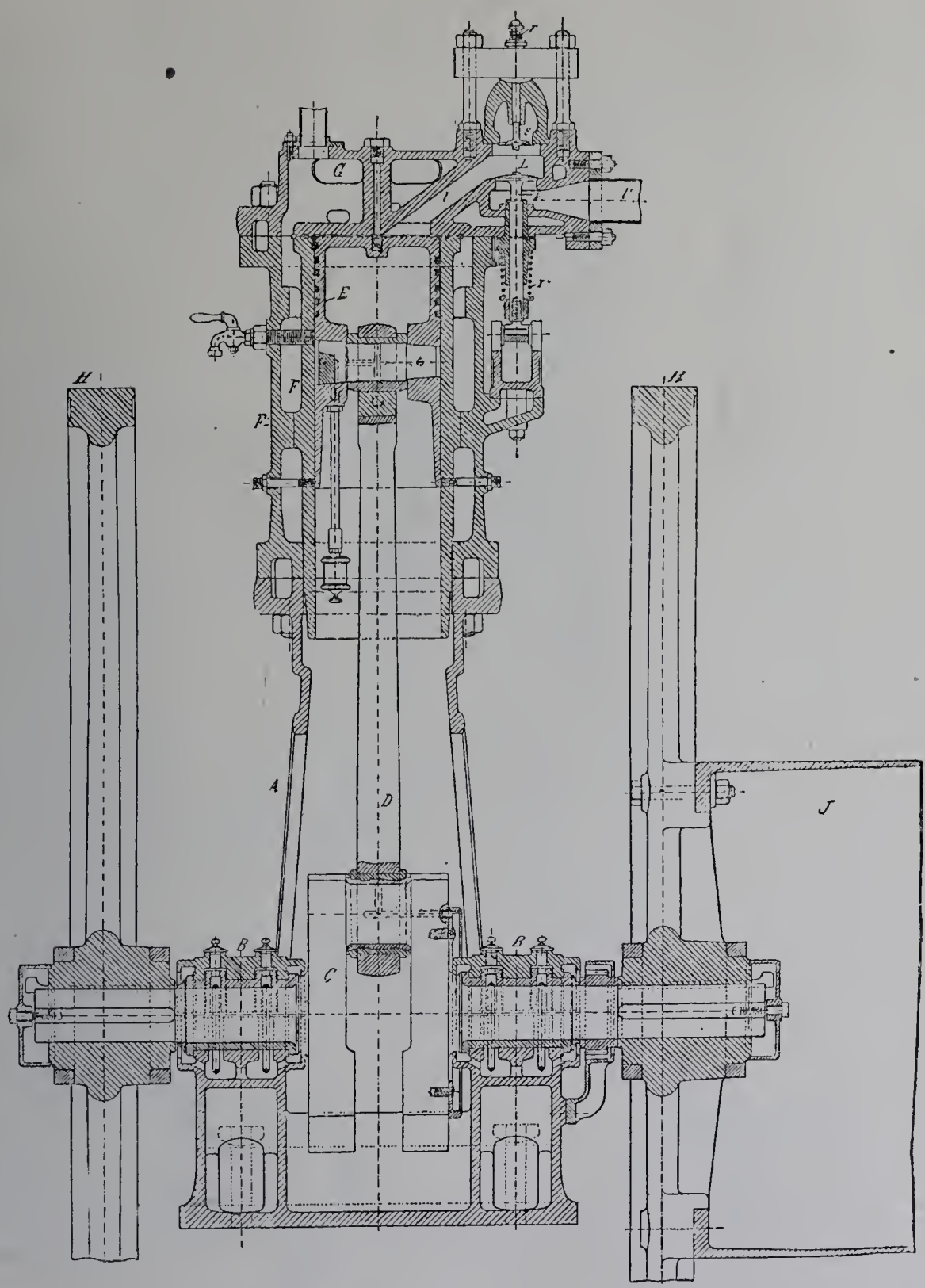


Fig. 60. — Moteur Banki (coupe longitudinale).

grammes sans danger et l'explosion se trouve remplacée par une combustion, la consommation s'abaissant alors à 221 grammes par cheval-heure effectif.

Banki, lui, aspire le mélange tout formé et le comprime dans cet état, mais il a soin

d'y incorporer une quantité d'eau telle que la chaleur employée pour vaporiser cette eau, durant la compression, abaisse la température dans des proportions suffisantes pour permettre d'atteindre ainsi 15 kilogrammes et ne consommer que 221 grammes par

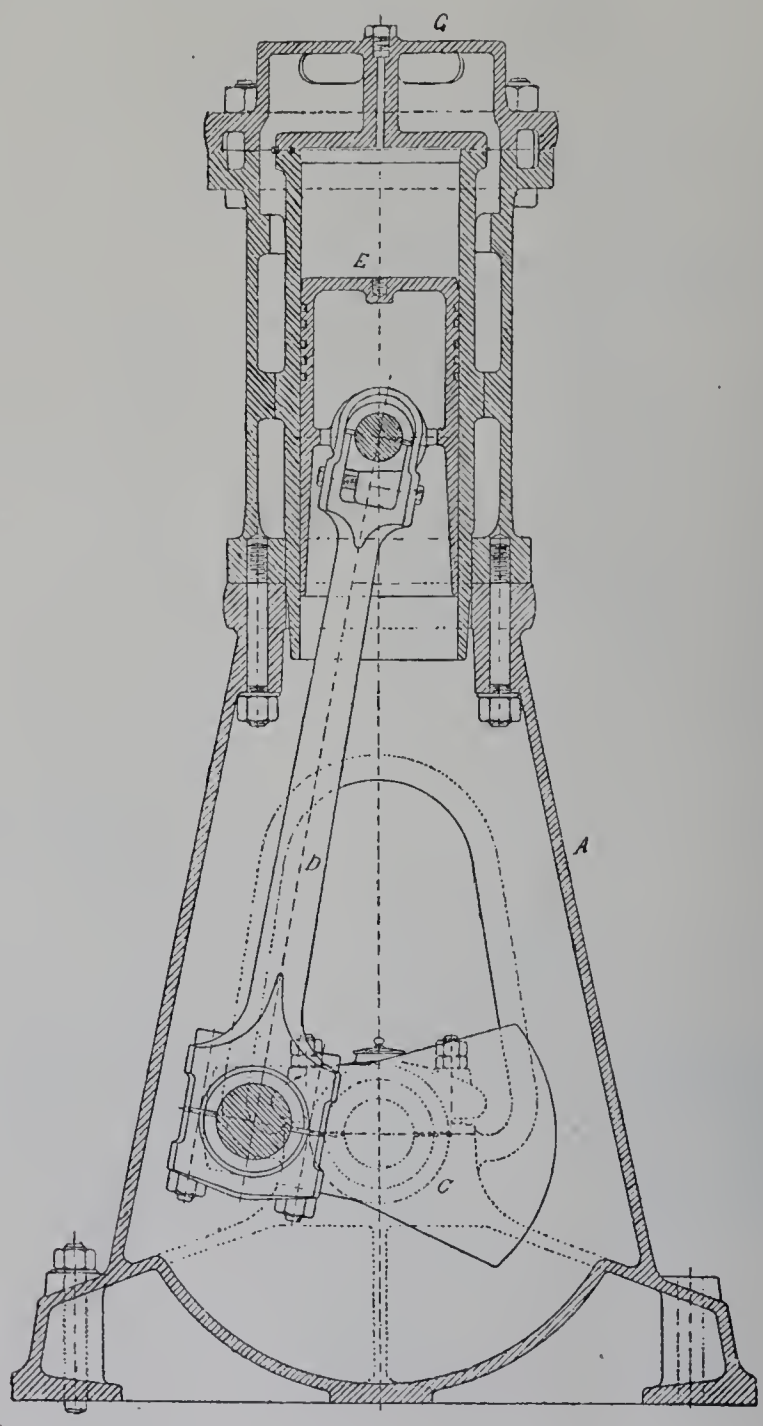


Fig. 61. — Moteur Banki (coupe transversale).

cheval-heure effectif, correspondant à un rendement de 28 p. 100, ainsi que le montrent les résultats d'essais effectués par le professeur Jaborsky sur un moteur de 20 chevaux. Les caractéristiques de ce moteur étaient les suivantes : nombre de tours environ 210, diamètre du cylindre 250 millimètres, course du piston 400 millimètres, compression

maximum 16 kilog. 500, pression explosive 45 kilogrammes, puissance effective en chevaux 26,38, consommation d'essence de 730 de densité par cheval-heure effectif

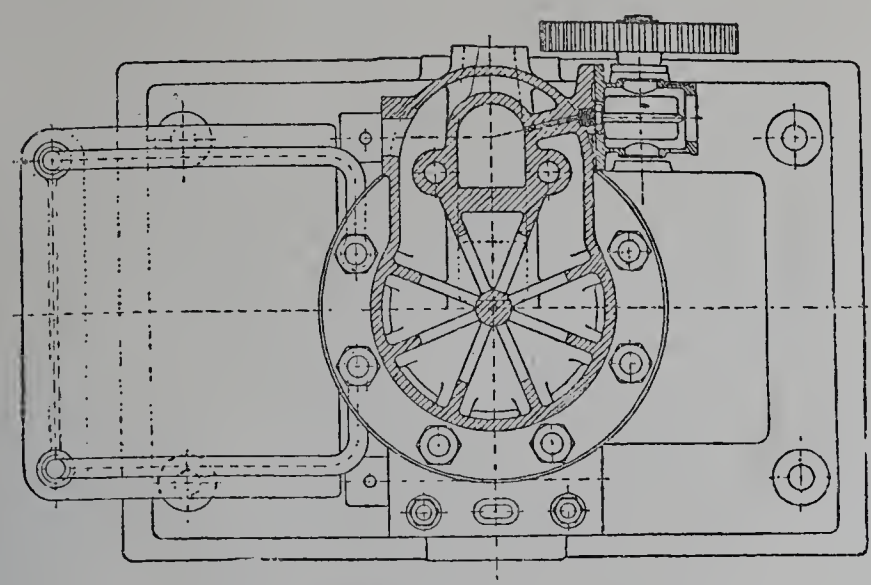


Fig. 62. — Moteur Banki (coupe plane).

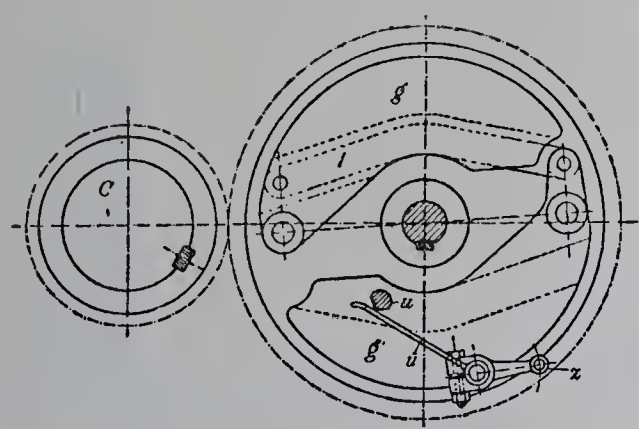


Fig. 64. — Moteur Banki (régulateur).

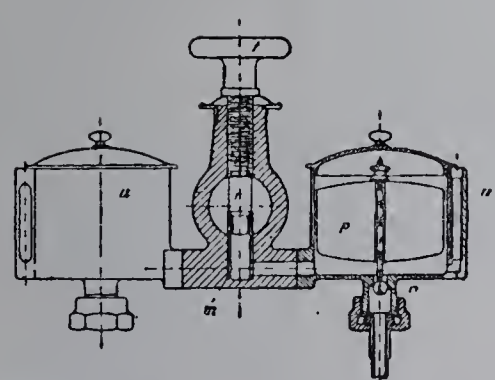
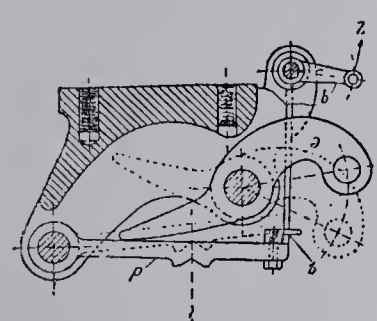


Fig. 63. — Moteur Banki (carburateur double).



Moteur Banki (détail de l'action du régulateur).

121 grammes, dépense d'eau injectée par cheval-heure effectif 1,075 grammes, dépense d'eau de refroidissement par cheval-heure effectif 13 litres 55.

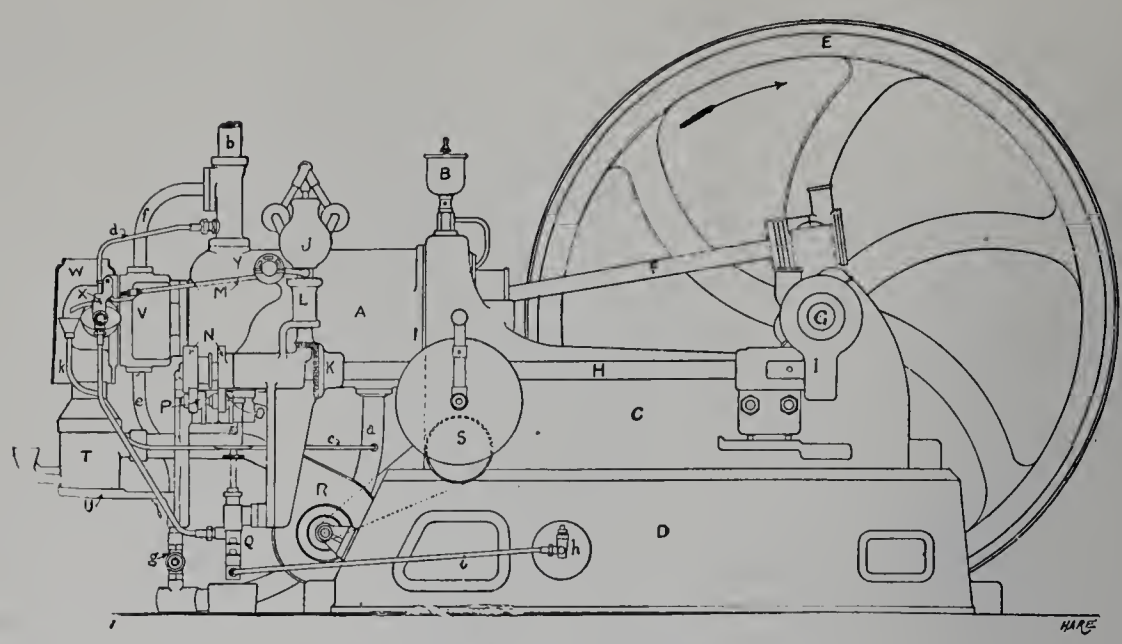


Fig. 65. — Moteur à pétrole Hornsby-Akroyd.

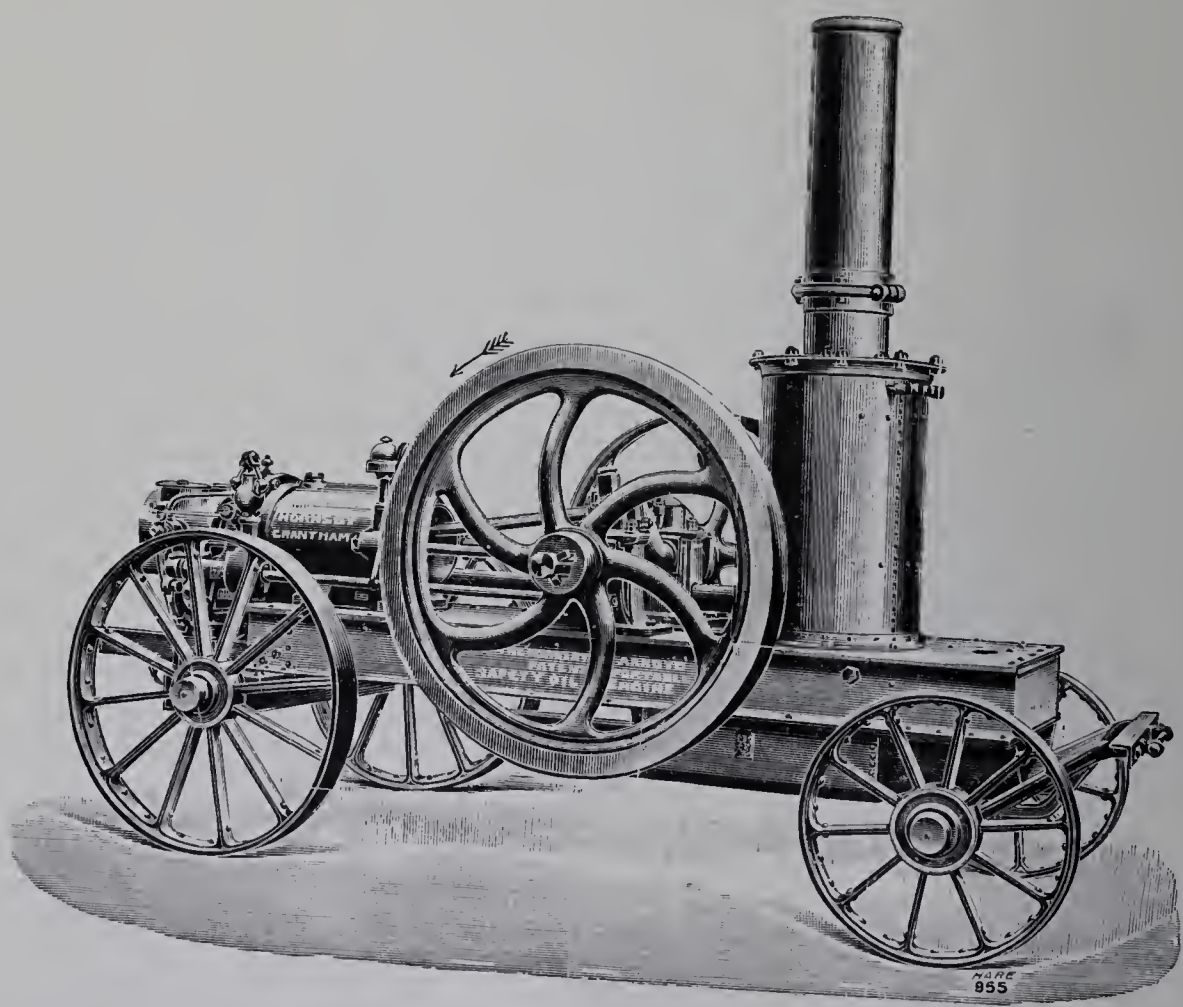


Fig. 66. — Locomobile à pétrole Hornsby-Akroyd.

Richard Hornsby and sons limited, à Grantham (Angleterre).

Cette maison exposait une locomobile de 6 IP 1/2, un moteur de 5 IP et un de 40 IP; tous appareils marchant au pétrole lampant.

Le moteur est horizontal, à un cylindre en porte à faux sur le bâti, à simple effet. La distribution est faite par soupapes, le refroidissement par circulation d'eau, l'allumage est automatique, le réglage s'opère par tout ou rien.

Le pétrole, emmagasiné dans le socle, y est pris par une pompe qui l'envoie au vaporisateur constitué par un prolongement de la chambre de combustion partiellement rafraîchie. Les soupapes sont commandées et le régulateur agissant sur le pétrole refoulé au vaporisateur le fait retourner au réservoir quand la vitesse est trop grande.

Pour la mise en marche, le vaporisateur est chauffé par une lampe à pétrole lampant activée à l'aide d'un ventilateur, mais, une fois la machine lancée, la compression du mélange dans le vaporisateur suffit à provoquer automatiquement l'inflammation et le brûleur n'est plus nécessaire.

La pompe, le régulateur, les cames, sont commandés par l'arbre de distribution parallèle au cylindre.

La compression, variable suivant les pétroles, est réglée par des cales placées à la tête de bielle. La compression moyenne est de 3 kilogrammes (fig. 65).

La locomobile Hornsby-Akroyd comporte un châssis métallique qui sert de bâti au moteur même et porte un réservoir de refroidissement (fig. 66).

MM. Koerting frères, à Kortingsdorf (Hanovre).

La maison Koerting est très connue pour ses appareils de chauffage et de ventilation, ses injecteurs, ses condenseurs, ses pulsomètres, et aussi ses moteurs à gaz qu'elle construit depuis vingt ans.

Nous avons eu l'occasion de décrire ailleurs, en nous occupant de l'exposition de la maison Brulé et Cie, le moteur vertical Kœrting, destiné aux petites forces, que MM. Kœrting frères construisent en Allemagne, et dont l'ancienne maison Hermann-Lachapelle a la concession pour la France.

En outre de ces petits moteurs verticaux, MM. Kœrting frères exploitent leur très intéressant moteur horizontal susceptible de fonctionner au gaz d'éclairage, au pétrole, au gaz pauvre et aussi à l'alcool (fig. 67 à 70).

Au Champ-de-Mars, on pouvait voir fonctionner, d'une façon parfaite, un moteur à gaz de 30 chevaux accouplé à une dynamo. Un moteur de 3 chevaux à alcool pur également accouplé à une dynamo était visible en action à Vincennes.

Ces moteurs sont identiques, quels que soient les mélanges explosifs adoptés; la seule différence consiste dans la disposition de la soupape de mélange, dans la compression et le réglage.

Le moteur horizontal est à un cylindre en porte à faux partiel sur le bâti, à cylindre

IMPRIMERIE NATIONALE.

rapporté dans la chemise d'eau, sans glissière. La distribution est par soupapes superposées, toutes deux commandées par cames, avec soupape de mélange automatique,

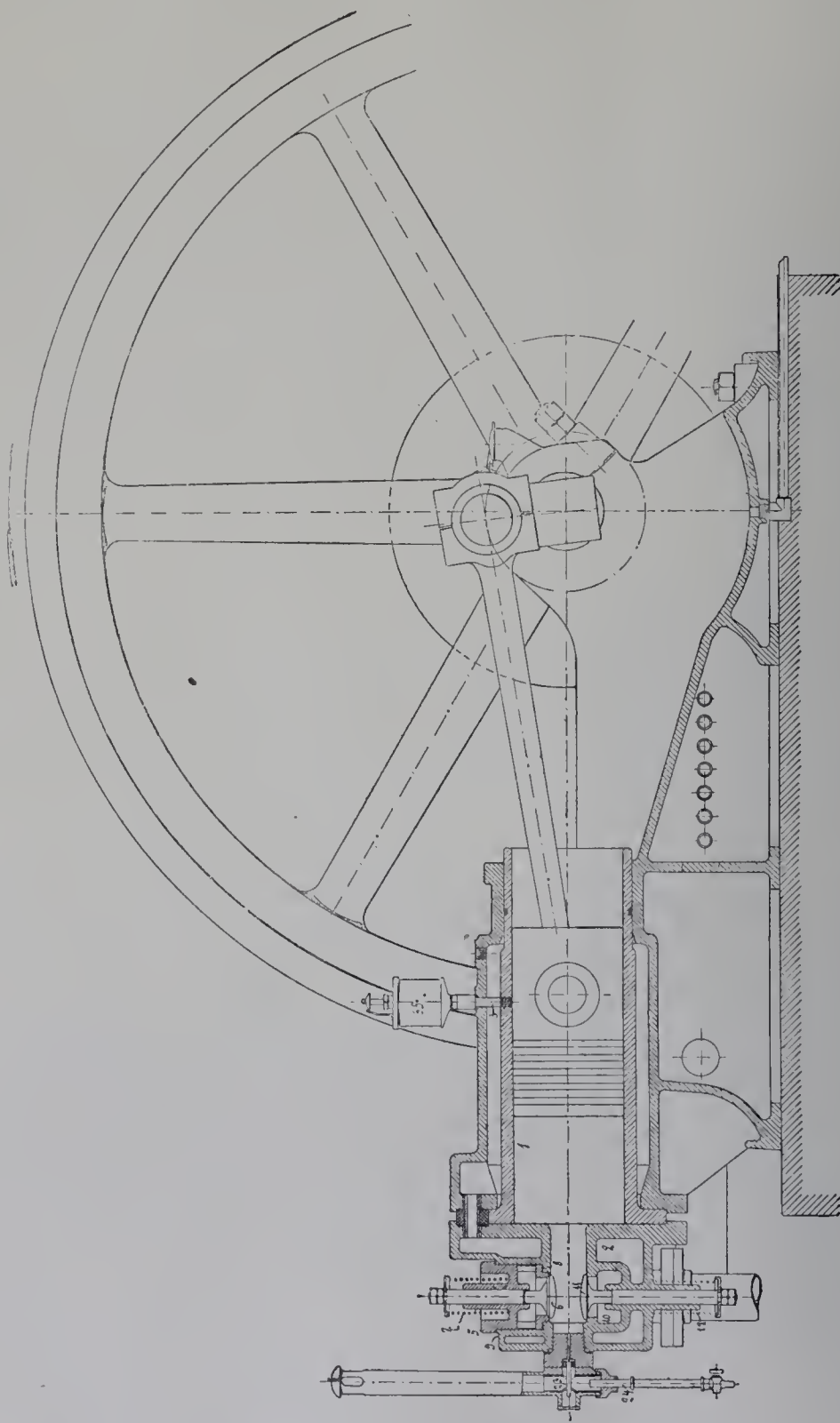


Fig. 67. — Moteur Kœrting à gaz (coupe longitudinale).

allumage par tube incandescent ou magnéto, régulateur à force centrifuge équilibré, agissant sur l'admission. Le refroidissement est assuré par circulation d'eau. L'arbre intermédiaire parallèle à l'arbre du cylindre commande distribution, régulation, etc.

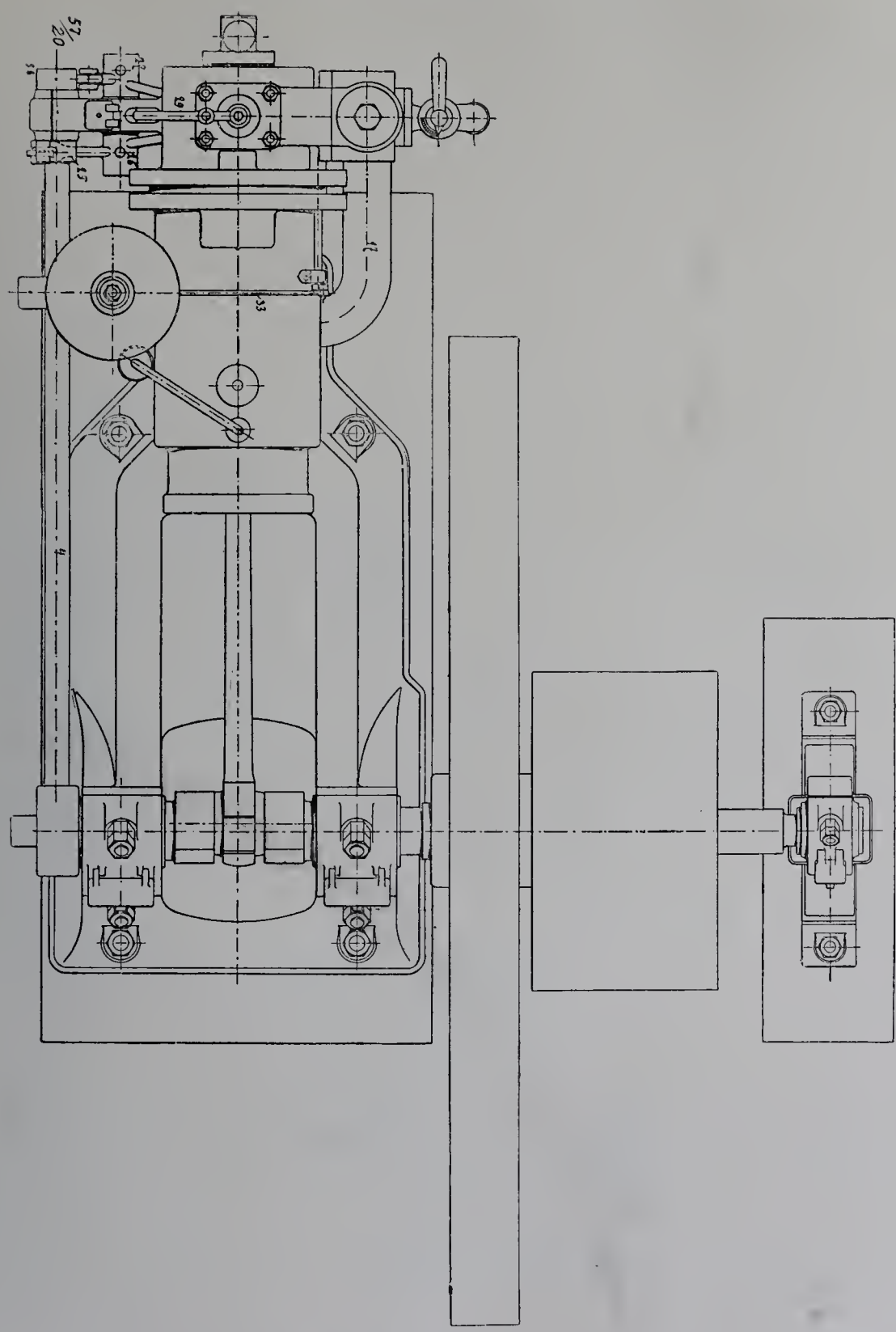


Fig. 68. — Moteur Kœrting à gaz (plan).

La mise en marche se fait automatiquement par l'air comprimé. Dans le cas d'emploi d'alcool ou de pétrole lampant (fig. 70), la soupape de mélange laisse couler le liquide pulvérisé dans le sein du courant d'air se rendant au moteur par la soupape d'admission,

traversant au préalable un long conduit à plusieurs coudes réchauffé par une circulation extérieure de l'échappement. La mise en marche se fait soit en employant de l'essence

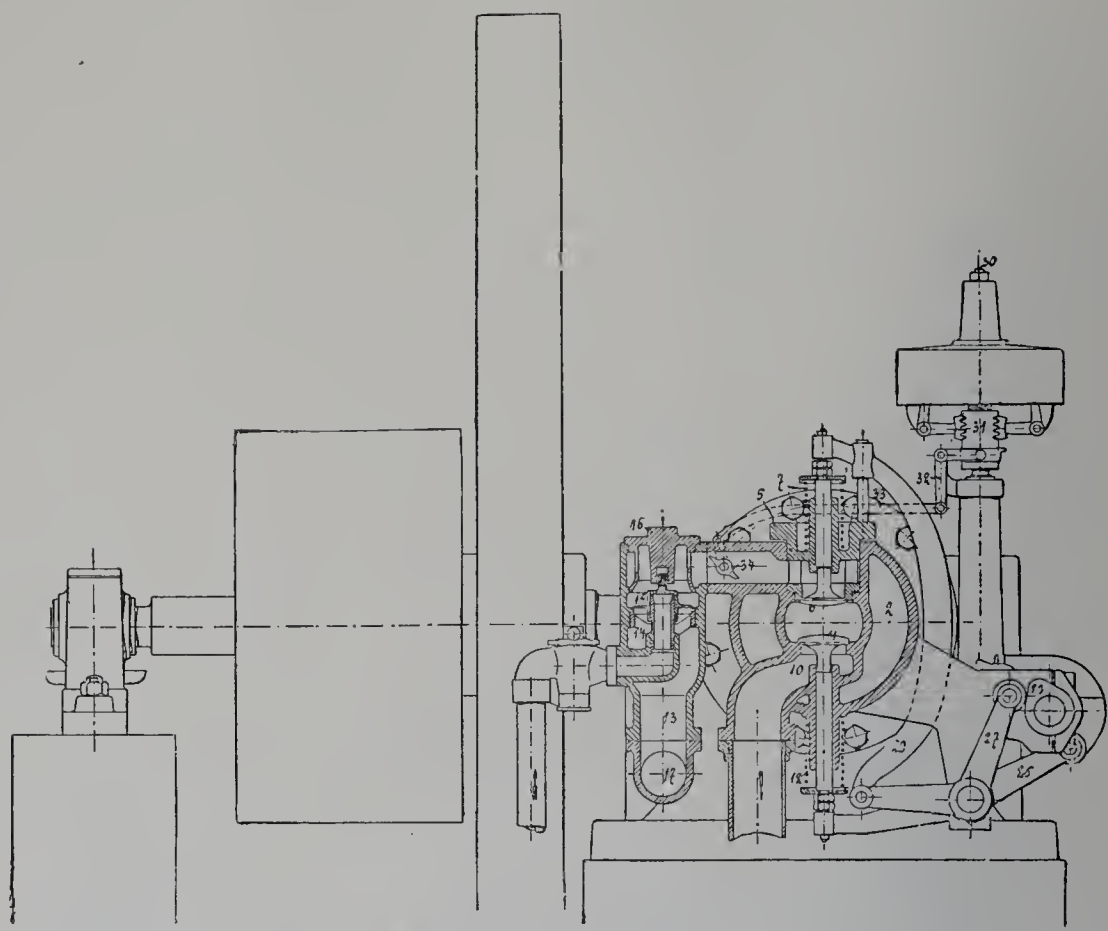


Fig. 69. — Moteur Kœrting à gaz (coupe transversale).

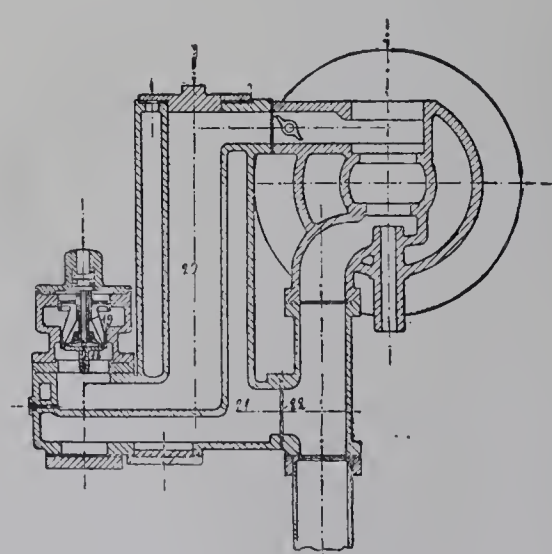


Fig. 70. — Carburateur, remplaçant la soupape à gaz pour la marche au pétrole (coupe).

pour produire la première explosion, soit en chauffant extérieurement le vaporisateur. Dans le cas d'emploi d'essence ou de gaz, cette vaporisation n'existe pas et n'est plus nécessaire.

La maison Kœrting frères s'est fait une spécialité des moteurs à alcool et obtient couramment une consommation très remarquable de 450 grammes par cheval-heure effectif pour 350 grammes d'essence et 450 litres de gaz d'éclairage; 400 grammes de charbon anthraciteux en cas de gaz pauvre, et 2.700 litres de gaz de haut fourneau; le tout par cheval-heure effectif. Pour les grosses puissances, la maison Kœrting construit des moteurs à quatre temps à double effet et à deux temps également remarquables.

The national gas engine Company limited, Ashton Under Lyne.

Cette société, qui a une dizaine d'années d'existence, ne construit que des moteurs à gaz d'éclairage, horizontaux, à un cylindre, à simple effet, en porte à faux sur le bâti, sans glissière, à arbre de manivelle équilibré, à distribution par soupapes, toutes commandées; la régulation est par tout ou rien en agissant sur la soupape à gaz; le régulateur à boules; l'allumage par tube incandescent en porcelaine, vertical, ouvert aux deux extrémités et à clapet de communication; le refroidissement par circulation d'eau; la mise en marche et le graissage automatiques.

À signaler la position latérale du tube d'allumage et la construction du brûleur, qui donnent un meilleur fonctionnement, au dire des constructeurs.

À signaler également le graissage automatique de la tête de bielle et du pied de bielle, ainsi que la mise en marche à l'aide d'une pompe à main refoulant air et gaz dans le cylindre. Au-dessus de celui-ci se trouve une soupape actionnée par une manette; lorsque le mélange a rempli le cylindre, on ferme cette soupape et on lève une touche traversant le brûleur.

L'aspiration se fait à travers un pot d'aspiration spécial.

La chemise d'eau est rapportée et tous les organes sont commandés par un arbre intermédiaire parallèle au cylindre.

Priestman brothers limited, à Hull.

Cette maison exposait deux moteurs, de 9 et de 22 chevaux respectivement, au pétrole lampant, du type industriel; mais ces constructeurs font aussi avec succès ces mêmes machines pour bateau, à un ou plusieurs cylindres combinés avec l'hélice reversible de Mac Glasson.

Les deux machines exposées étaient horizontales à un cylindre, à simple effet, sans glissière; l'une, la plus forte, à allumage électrique; l'autre, la plus faible, à tube incandescent.

Le moteur Priestman est un des premiers moteurs à pétrole lampant existants, il ne comporte pas de vaporisateur proprement dit, mais seulement un pulvérisateur à air comprimé produit par une pompe et actionné par la machine; le mélange est chauffé à 100 degrés par les produits de l'échappement avant de se rendre au cylindre. Pour la

mise en marche, on chauffe avec une lampe et on manœuvre une pompe à main. Le régulateur agit sur l'admission qu'il étrangle.

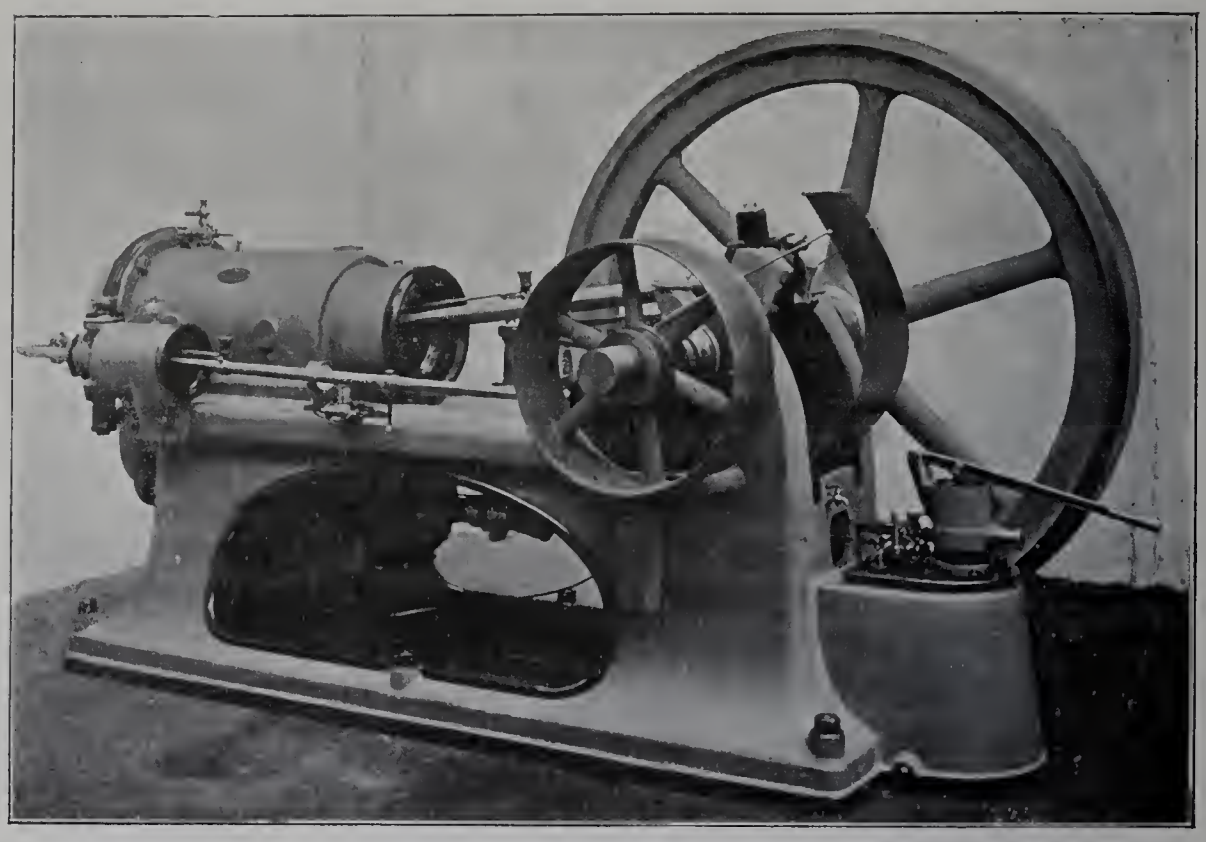


Fig. 71. — Moteur à pétrole Priestman.

Particularité intéressante : ces moteurs sont pourvus d'un petit injecteur d'eau ; cette eau, facilitant la compression, refroidit le cylindre intérieurement et évite l'encrassement tout en fournissant du travail pour sa détente.

Robey and C° limited, à Lincoln.

Cette société construit avec succès depuis longtemps la machine à vapeur. Elle a joint à cette industrie la construction du moteur à gaz.

Les moteurs présentés étaient d'un type commun : moteurs horizontaux, un cylindre simple effet, en porte à faux sur le bâti, sans glissière, distribution par soupapes commandées par cames, régulation par tout ou rien, régulateur à boules agissant sur la soupape à gaz, arbre intermédiaire parallèle au cylindre commandant tous les organes de distribution et de régulation, allumage par tube incandescent métallique, incliné sur le fond du cylindre, mise en marche automatique par formation de mélange explosif dans le cylindre d'allumage (fig. 72, 73). Les moteurs de grandes forces ont un bâti différent (fig. 74).

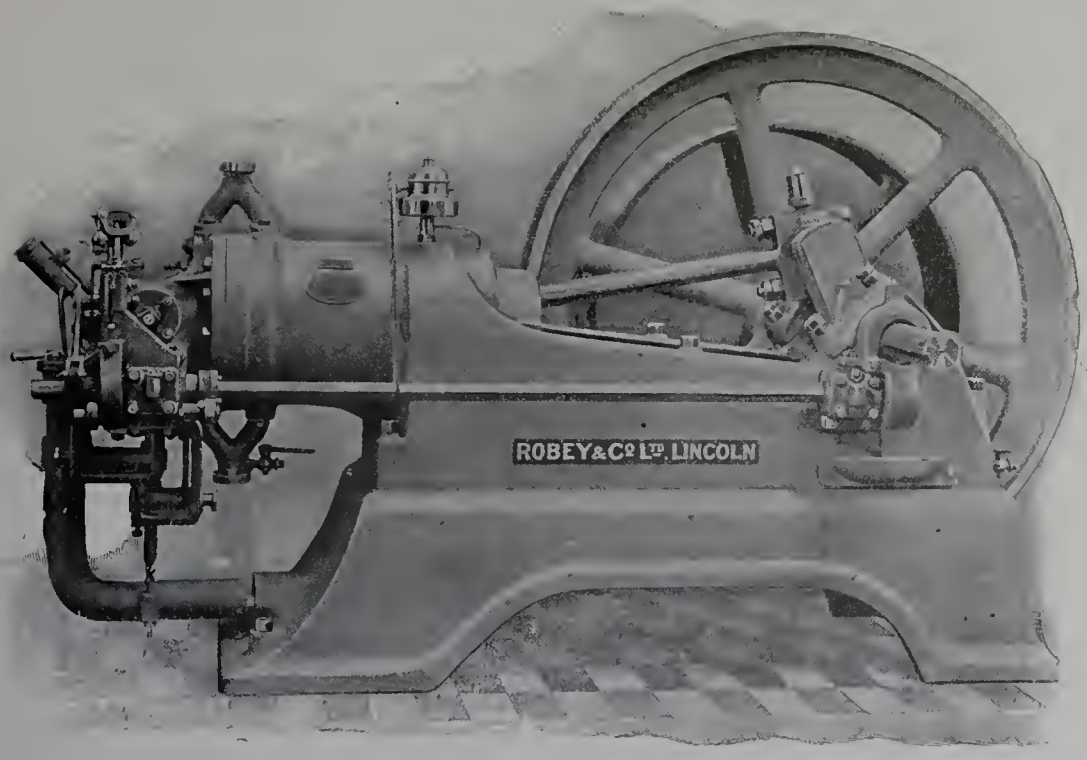


Fig. 72. — Moteur à gaz Robey.

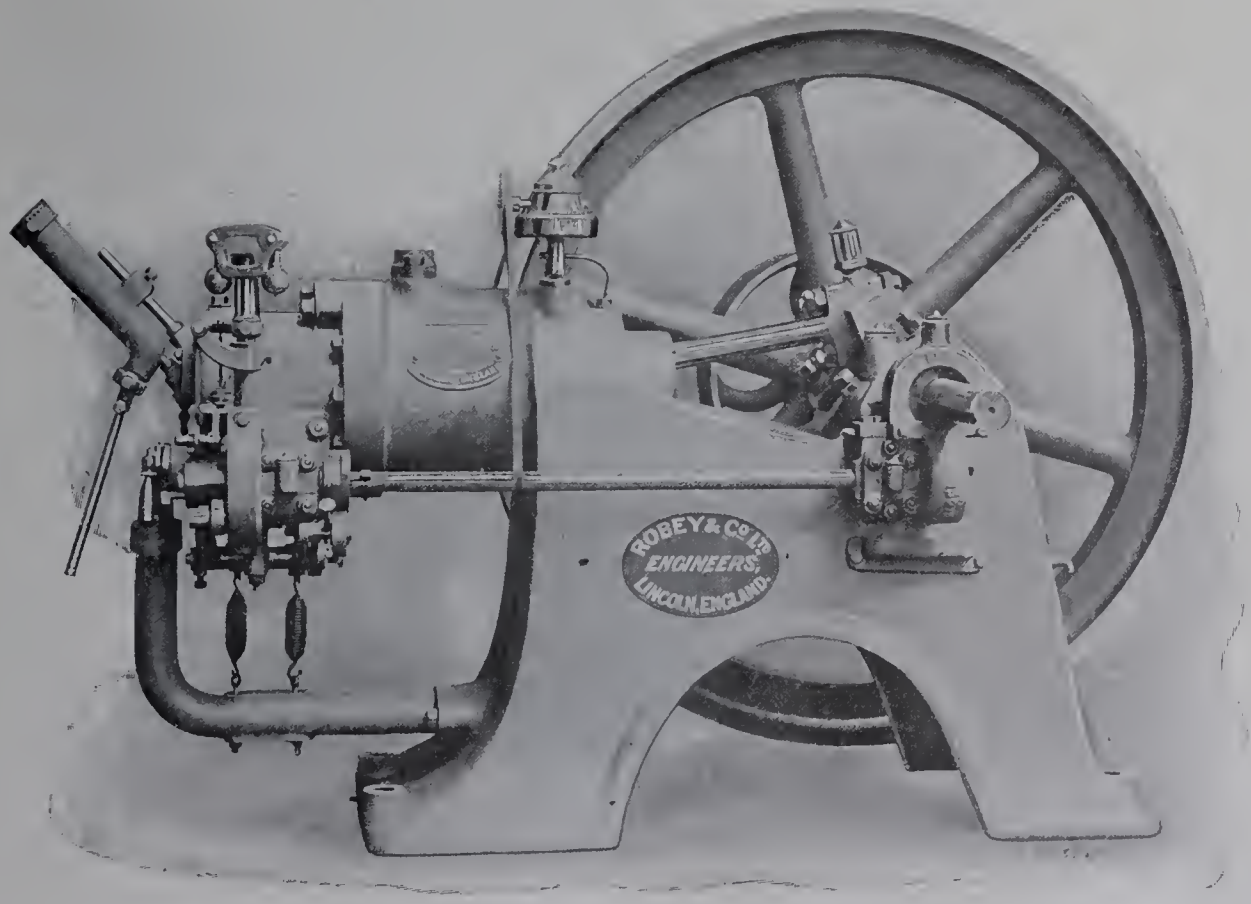


Fig. 73. — Moteur à pétrole Robey.

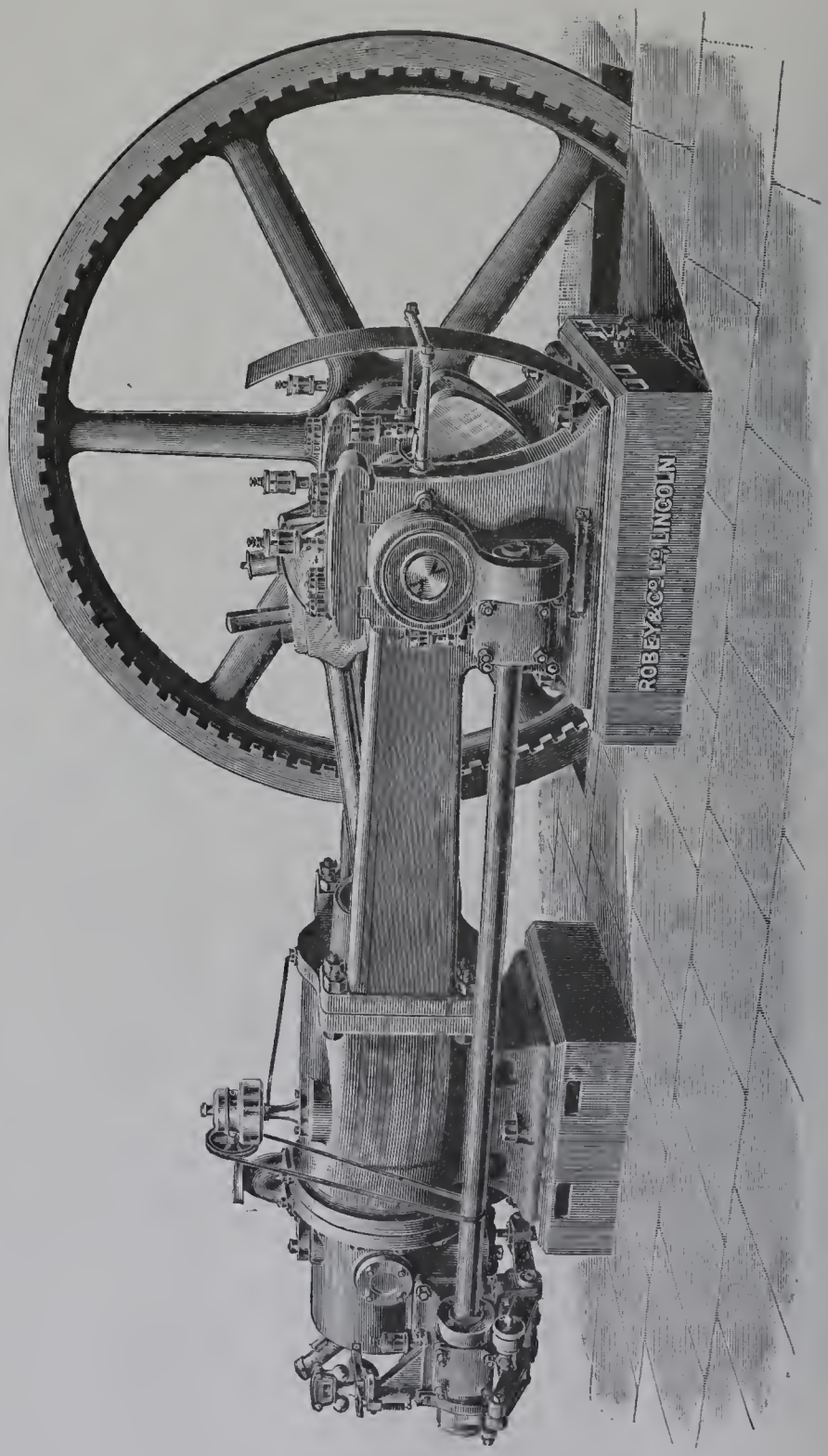


Fig. 74. — Moteur à gaz Robey.

Société par actions F. Martini et Cie, à Frauenfeld (Suisse).

Cette société, réputée pour la construction de ses armes de guerre, s'est consacrée depuis longtemps déjà à la fabrication des moteurs à gaz.

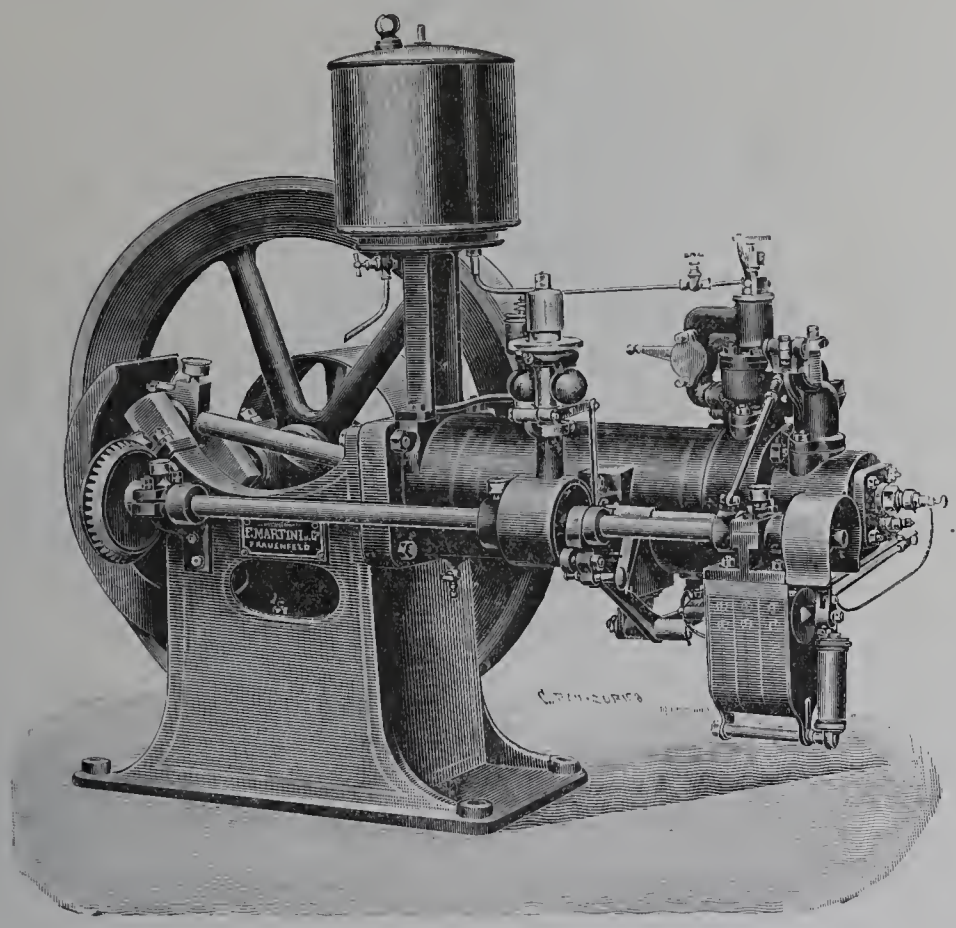


Fig. 75. — Moteur Martini.

Elle exposait des moteurs horizontaux à gaz et à essence, à un cylindre en porte à faux sur le bâti, sans glissière et à simple effet. La distribution est faite par soupapes, l'allumage par magnéto, et le refroidissement par circulation d'eau. Un régulateur à boules agissant sur une lanterne étrangle l'admission. L'arbre intermédiaire, parallèle à l'axe du cylindre, est actionné par une roue dentée conique. L'essence en charge descend à travers une lanterne où elle rencontre de l'air qui se carbure à son contact (fig. 75).

Même disposition pour la marche au gaz.

Le modèle vertical est construit pour des petites forces. MM. Martini et Cie en exposaient un de 3 chevaux, à Vincennes.

Société Bolinder, à Stockholm (Moteur système Weyland).

Cette société est une des rares maisons suédoises construisant des moteurs. Sa machine est à pétrole lampant, type horizontal, cylindre à simple effet, en porte à

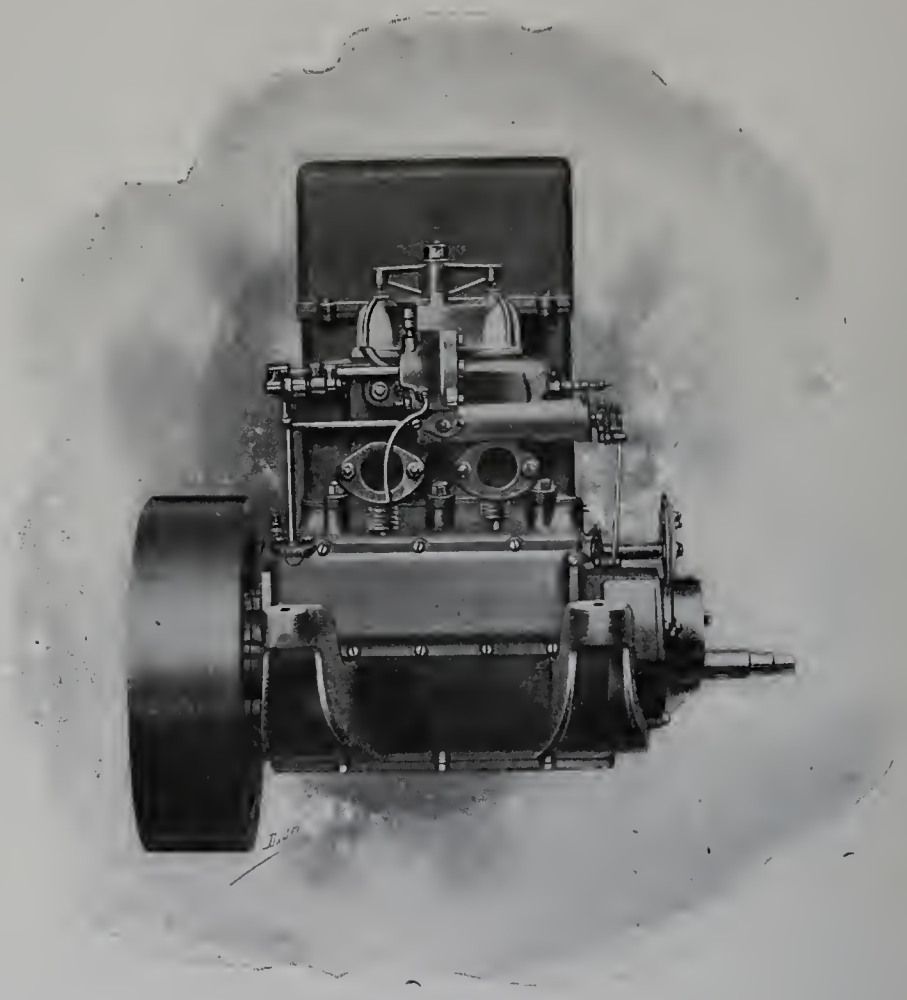
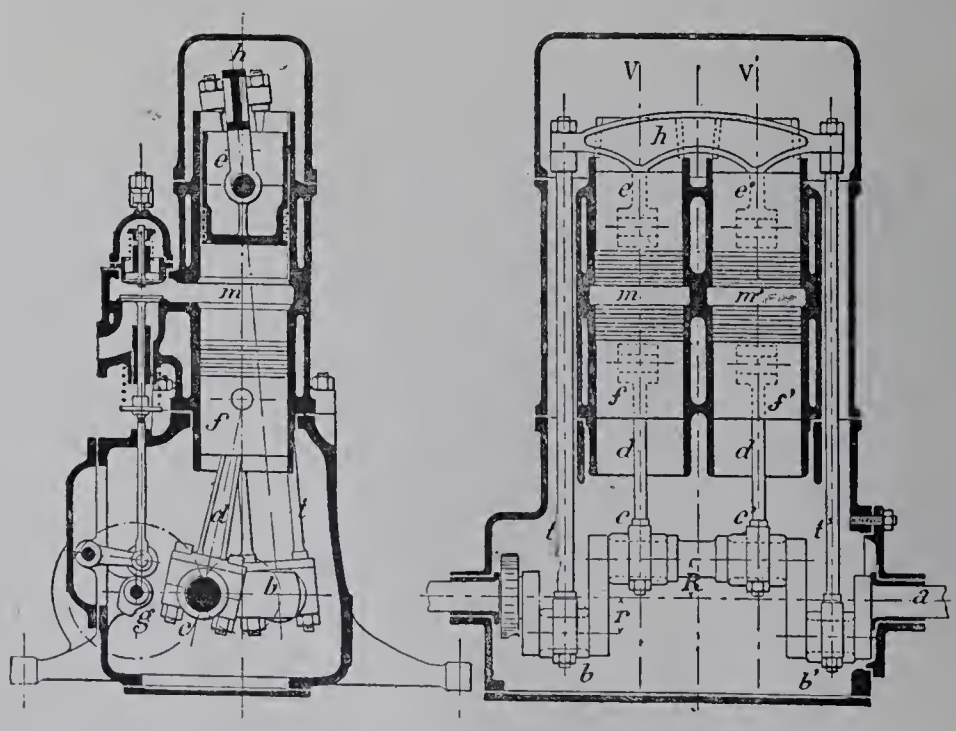


Fig. 76. — Moteur Gobron-Brillié (élévation).



Coupe transversale. Coupe longitudinale.

Fig. 77. — Moteur Gobron-Brillié.

faux sur le bâti, chemise rapportée; distribution par soupapes; allumage par tube incandescent à communication par clapet avec le cylindre, tube en porcelaine porté au rouge par un brûleur à pétrole, qui chauffe en même temps un vaporisateur placé au-dessus et à la partie supérieure duquel se trouve une soupape d'admission d'air et de pétrole. Le pétrole, pulvérisé par l'air rentrant en même temps que lui, traverse le vaporisateur et arrive à l'état de gaz, par une première soupape d'admission, dans la culasse où il rencontre une quantité d'air complémentaire venant de l'avant du cylindre, pénétrant par une soupape à air. Refroidissement par circulation d'eau.

Ce moteur est également appliqué à des locomobiles.

Société anonyme des établissements Fetu-Defize, à Liège.

Cette maison, qui s'est acquis une renommée avec ses machines-outils, est concessionnaire en Belgique des brevets Otto. Elle exposait au Champ-de-Mars des moteurs de ce système ainsi qu'une intéressante locomotive à essence destinée à être employée dans certaines mines non grisouteuses.

Nous renvoyons à ce que nous avons dit précédemment au sujet du moteur Otto.

Société des automobiles Gobron-Brillié.

Cette société construit les automobiles Gobron-Brillié, munies du moteur Gobron-Brillié à grande vitesse, sans trépidations, de poids et volume réduits, susceptible d'applications industrielles spéciales intéressantes : locomobiles, commande directe de dynamos, pompes centrifuges, ventilateurs, etc.

C'est à ce point de vue surtout que nous considérons ce moteur qui, quoique étudié pour la marche à l'essence, est susceptible d'être alimenté au gaz d'éclairage.

Les constructeurs se sont efforcés de réaliser la suppression des trépidations :

1° En employant deux cylindres à cycles croisés de façon à obtenir ainsi une explosion à tous les tours;

2° En équilibrant les pièces en mouvement et en supprimant toute réaction sur le fond des cylindres.

Pour cela l'explosion se produit au milieu du cylindre entre deux pistons allant en sens contraire. Les pistons avant se déplacent en même temps et actionnent un maneton double unique. Quant aux pistons arrière, ils sont reliés par un balancier et des bielles ramènent leur mouvement à deux coudes symétriques à 180° du premier (fig. 76 et 77).

Comme les cylindres sont verticaux, que les masses des ensembles se mouvant en sens contraires sont différentes, les courses sont différentes, de façon à ce que la force vive soit la même dans les deux cas, et l'équilibrage est ainsi réalisé.

La distribution se fait par soupapes, l'admission est automatique, l'échappement est commandé par came, l'arbre intermédiaire parallèle à l'arbre moteur est mû par roues dentées droites. L'allumage électrique se fait par bougie; le réglage par tout ou rien

comme nous le verrons plus loin, le refroidissement par circulation d'eau, le graissage est mécanique.

Un carter étanche enveloppe tous les organes, les enferme, les abrite, permet le graissage et porte tous les accessoires.

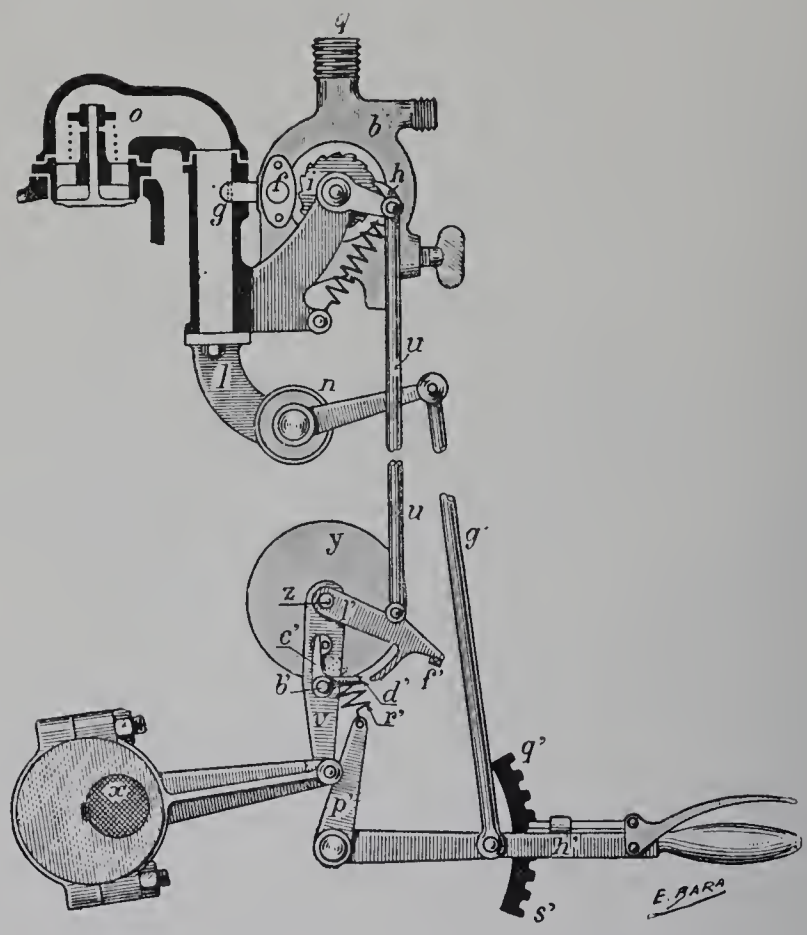


Fig. 78. — Carburateur et régulateur du moteur Gobron-Brillié.

Le carburateur mérite une mention spéciale. Il est mécanique et constitué par un boisseau de robinet conique à alvéoles se remplissant dans le corps creux du robinet. Chaque fois que c'est nécessaire, un cliquet et un rochet font avancer d'une dent le boisseau et une alvéole pleine vient se placer en face d'une arrivée d'air et d'une sortie d'air. Celle-ci débouche dans l'arrivée d'air allant à la soupape d'admission.

Le régulateur est pendulaire et sert à entraîner la commande du rochet, de façon, si la vitesse est trop grande, à supprimer toute prise d'essence. Une manette agit sur le ressort d'équilibrage de ce régulateur et permet de varier la vitesse à volonté (fig. 78).

Cet intéressant moteur fait normalement de 700 à 900 tours à la minute et se construit depuis 6 HP jusqu'à 20 HP. Il a été déjà l'objet d'applications importantes, à l'automobile en particulier, et est adopté par la Compagnie de l'Ouest pour ses chariots électrogènes destinés à la recharge des postes des signaux électriques et, sur les chantiers, à l'éclairage ainsi qu'à la commande de machines-outils.

Tangye's limited, à Birmingham.

Les moteurs Tangye sont du système Pinkney. Ils fonctionnent au gaz d'éclairage, au gaz pauvre ou au pétrole lampant.

La maison Tangye construit même un gazogène à refoulement, genre Dowson, également du système Pinkney, qu'elle n'exposait pas.

Les moteurs Tangye sont horizontaux, à un cylindre, à simple effet, à chemise rapportée, en porte à faux sur le bâti, sans glissière. La distribution est faite par soupapes, la régulation par tout ou rien, l'allumage par tube incandescent, le refroidissement par circulation d'eau; l'arbre intermédiaire est parallèle au cylindre.

Dans les moteurs à gaz la soupape d'admission, la soupape d'échappement et la soupape à gaz sont commandées. Cette dernière est sous la dépendance du régulateur (fig. 79).

Le régulateur à boules pour les gros moteurs, à inertie pour les petits, est muni d'un ingénieux dispositif permettant d'enrichir un peu plus le mélange au coup suivant immédiatement un passage à vide, l'explosion sans cela étant mauvaise.

Dans le cas du régulateur à boules, il comprend un couteau déplacé à la fois par la came de la soupape à gaz et par le régulateur. On comprend aisément que ce dernier faisant descendre le couteau, celui-ci ne se trouvant plus en face de la soupape à gaz, cette dernière ne sera pas soulevée et il y aura un passage à vide. Mais au coup d'après il faudra soulever plus la soupape à gaz qu'elle n'est soulevée normalement. Pour cela, le couteau proprement dit peut reculer sur son support quand il entre en contact avec la soupape à gaz jusqu'à une butée qui limite la soulevée. Aussitôt après un passage à vide, au contraire, une cale vient se placer derrière ce couteau et l'empêche de reculer.

Ceci est obtenu grâce à une pièce mobile autour d'un axe porté par le levier actionnant la soupape à gaz, pièce sur laquelle vient s'appuyer le couteau lors d'un passage à vide, faisant ainsi interposer la cale par butée contre un bec fixe, mais le coup d'après cette butée ne se produit plus et la cale tombe.

Le régulateur à inertie se compose d'une masse portant un couteau, maintenu en équilibre par un levier mobile et deux ressorts. Cette pièce est pourvue d'un mouvement de va-et-vient fourni par une came, se rapprochant puis s'éloignant de la soupape à gaz que son couteau commande. En allant vers celle-ci, la pièce bute un obstacle qui la fait dévier, d'autant plus que la vitesse est plus grande. Si la vitesse est supérieure à celle pour laquelle la machine est réglée, le couteau est tellement repoussé qu'il passe au-dessus de la tige de la soupape à gaz et ne l'ouvre pas. Mais dans ce mouvement il viendra attaquer un moulinet qui fera placer une cale entre lui et la tige pour le coup d'après, cale qui s'effacera par la suite. On a ainsi, aussitôt après le passage à vide, une admission plus grande de gaz (fig. 80).

Les tubes d'allumage sont en porcelaine, verticaux, percés aux deux bouts; une vis placée dans la monture supérieure fait office de piston modifiant le volume du

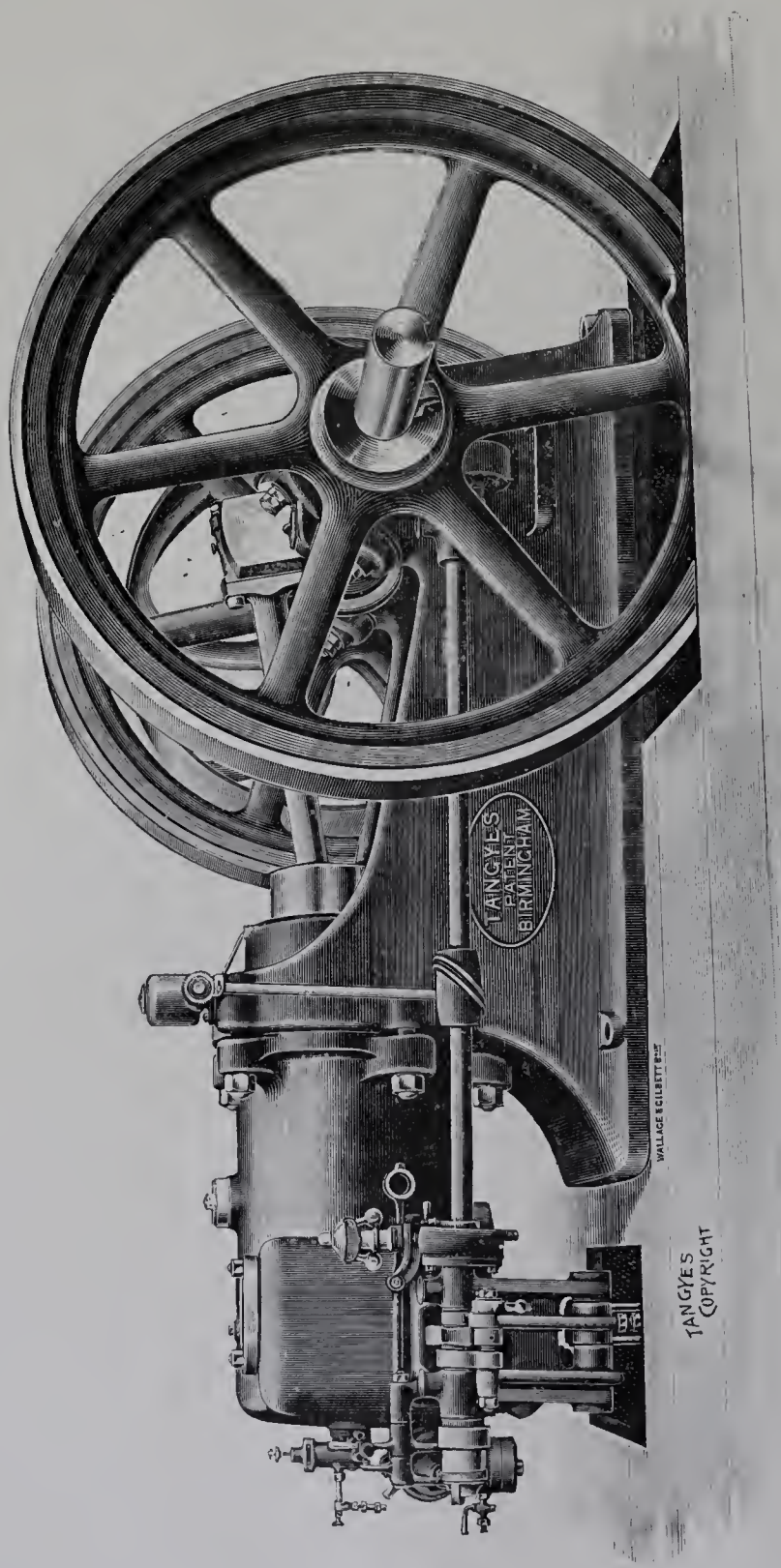


Fig. 79. — Moteur Tangye à gaz.

tube et faisant varier le moment de l'allumage. Cette vis est utilisée pour la mise en marche automatique avec pompe envoyant le fluide explosif au cylindre. Les tubes

sont à communication libre pour les petits moteurs, commandée par clapet pour les gros.

Les moteurs à pétrole Tangye diffèrent de ceux à gaz par la culasse (fig. 81).

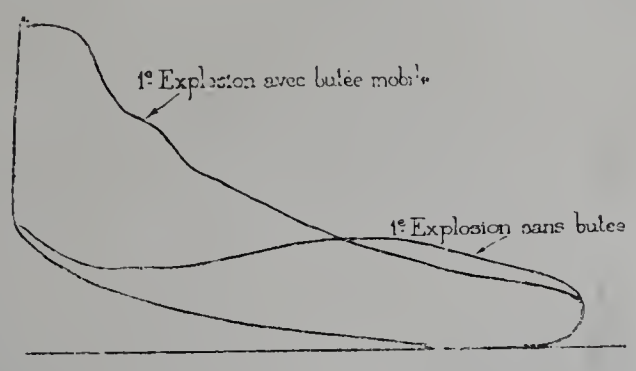


Fig. 80. — Diagramme du régulateur du moteur Tangye.

Le pétrole en charge arrive à une soupape d'admission d'air et de pétrole automatique, placée à la partie supérieure d'un vaporisateur constitué par une boule non refroidie comuniquant avec le cylindre et comportant un tube d'allumage horizontal chauffé

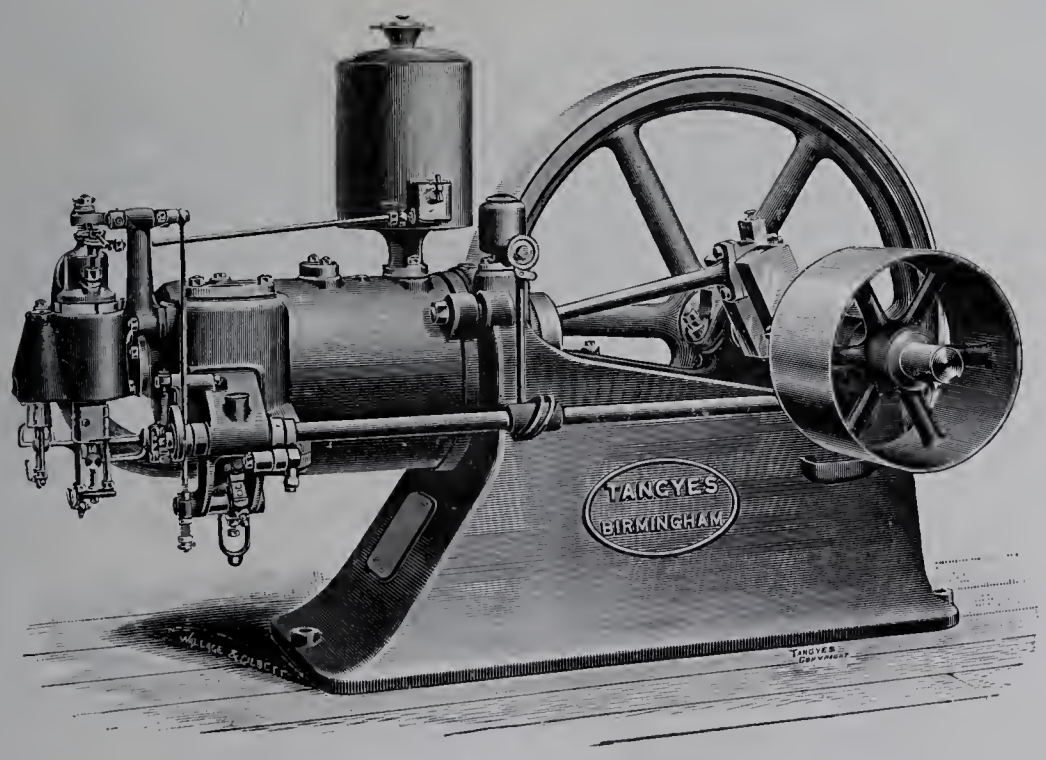


Fig. 81. — Moteur Tangye à pétrole.

par un brûleur. Ce dernier est déplaçable et sert à chauffer le vaporisateur pour la mise en marche, mais seulement pour celle-ci.

La régulation est faite par tout ou rien en maintenant la soupape d'échappement ouverte.

Thévenin frères, L. Séguin et Cie, rue Lafayette, 44, à Paris.

Cette société exploite le moteur *Le Gnome,* à pétrole lampant (fig. 82, 83). Ce moteur vertical est du type pilon, à un cylindre à simple effet, sans glissière, porté par un bâti clos enfermant toutes les pièces mobiles, graissage par barbotage, distribution par soupapes, soupape d'admission automatique, soupape d'échappement commandée, régulation par tout ou rien en maintenant la soupape d'échappement ouverte, régulateur à boules, allumage par tube incandescent formant vaporisateur, refroidisse-

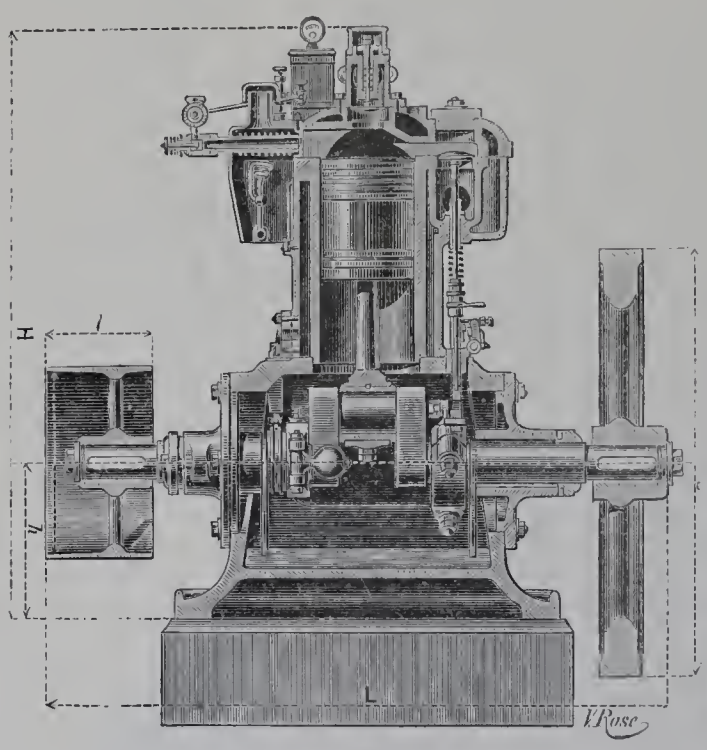


Fig. 82. — Moteur *Le Gnome.*
Coupe longitudinale.

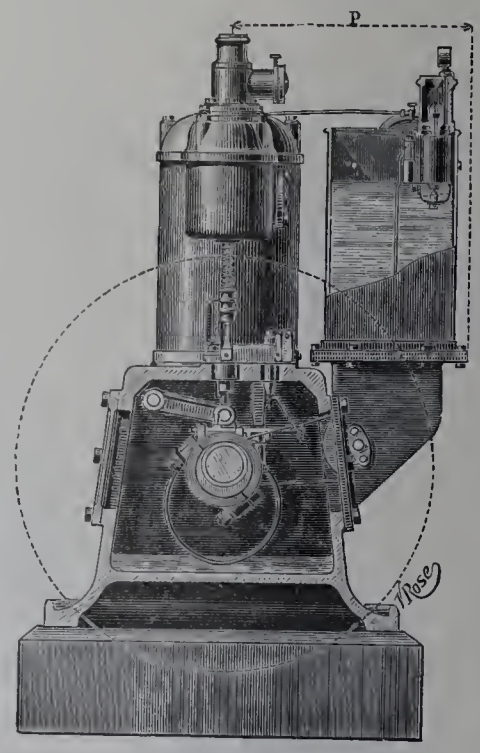


Fig. 83. — Moteur *Le Gnome.*
Coupe transversale.

ment par circulation d'eau. Une petite pompe placée derrière le moteur et commandée par celui-ci aspire le pétrole dans un réservoir fixé après la machine, et le refoule sous faible pression dans un premier récipient alimentant la lampe. L'excès de pétrole monte dans un deuxième récipient faisant le service de vaporisateur. C'est en traversant le vaporisateur que la vapeur combustible se forme. Cette vapeur trouve dans le cylindre l'air nécessaire à sa combustion, qui entre par la soupape d'admission automatique. La soupape d'échappement est commandée par un excentrique calé sur l'arbre moteur, et cependant n'agissant qu'à tous les deux tours. Pour cela le tourteau de cet excentrique porte à la partie supérieure un coulisseau muni d'un taquet. À chaque tour ce taquet viendrait rencontrer la tige de la soupape d'échappement et la soulèverait, mais le coulisseau est actionné par une came en cœur, conduite par un pignon à douze dents, engrenant avec une vis à six filets taillés dans le tourteau d'excentrique. Le coulisseau effectue donc seulement un mouvement tous les deux tours de moteur.

Le régulateur à boules, quand la vitesse est trop grande, commande un couteau qui vient enclencher la soupape d'échappement et la maintient ouverte, tant que la vitesse est supérieure à ce qu'elle devrait être.

Dans le cas d'alimentation par gaz d'éclairage, la soupape supérieure d'admission est à double clapet, l'un pour l'air, l'autre pour le gaz. Le tube d'allumage et le brûleur sont d'un type ordinaire.

MÉDAILLES D'ARGENT.

Daniel Augé et Cie, rue des Arts, 92, à Levallois-Perret (Seine).

MM. Daniel Augé et Cie exposaient le moteur *Cyclope,* pour automobiles. Ce moteur se fait vertical ou horizontal. Dans ce cas comme dans l'autre, les deux pistons actionnent la manivelle au moyen d'une bielle unique en forme d'U, mais les cycles sont alternés de manière à obtenir une explosion par tour. Les soupapes d'admission sont automatiques, les soupapes d'échappement commandées mécaniquement par un balancier dépendant d'un levier commandé lui-même par une came fraisée qui tourne deux fois moins vite que le moteur, et qui est placé dans l'intérieur d'un carter renfermant tous les organes mobiles assurant le graissage par barbotage. Un régulateur à boules, placé dans le volant, commande une valve d'admission opérant l'étranglement quand la vitesse est trop grande. Cette valve d'admission est constituée par une sorte de robinet dont le boisseau est à la fois mobile autour de son axe et le long de cet axe. La commande circulaire se fait à la main et le mouvement longitudinal est commandé par le régulateur.

Le carburateur est à niveau constant, à pulvérisation et à réglage du jet d'essence. Le moteur de 4 HP 1/2 exposé a 85 millimètres d'alésage, 120 millimètres de course et pèse 90 kilogrammes y compris le volant de 30 kilogrammes. La vitesse normale est de 700 tours. Le moteur de 16 HP a 100 millimètres d'alésage, 160 millimètres de course et pèse 140 kilogrammes dont 40 kilogrammes de volant; sa vitesse normale est de 650 tours.

Le nom de *Cyclope* donné à ce moteur provient de ce que primitivement il était à allumage par tubes rapprochés de telle façon qu'un seul brûleur était nécessaire.

Ces moteurs peuvent cependant être à allumage électrique par came et contact unique, une bobine double faisant jaillir l'étincelle en même temps dans les deux cylindres. Comme il y a de l'avance à l'allumage dans le cylindre travaillant, l'étincelle passe dans l'autre cylindre alors que l'admission n'est pas commencée.

Ce moteur peut convenir à des applications fixes spéciales.

Blackstone and Company limited, à Stamford.

Cette société expose une locomobile de 5 HP et deux moteurs fixes, un de 3 HP et l'autre de 11 HP.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Ces moteurs sont à quatre temps et disposés pour marcher au gaz ou au pétrole. A cet effet on enlève la culasse portant le brûleur à gaz et on la remplace par une autre interchangeable portant le vaporisateur.

Il nous suffira de décrire le moteur à pétrole.

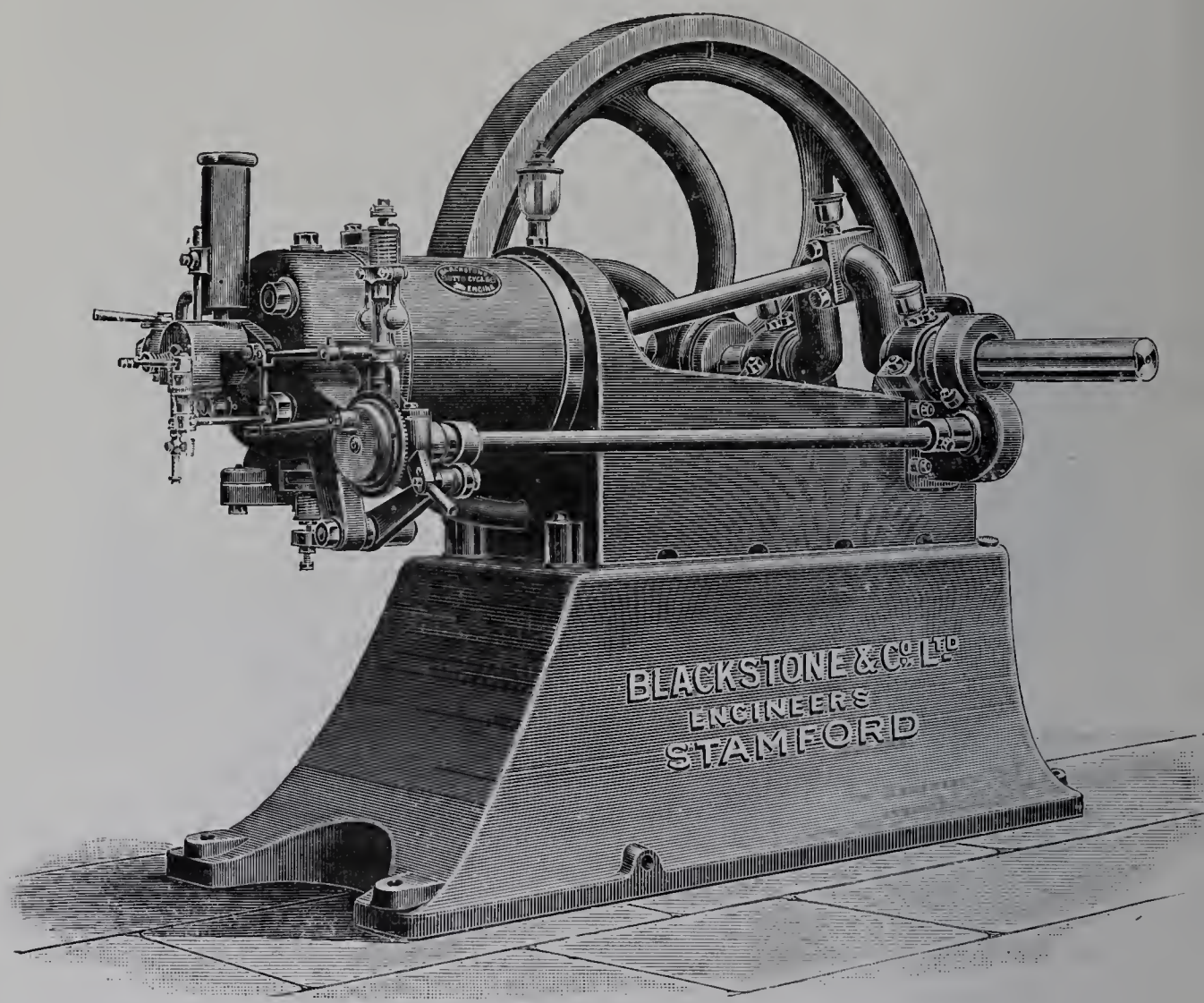


Fig. 84. — Moteur à gaz Blackstone.

Le pétrole lampant, logé dans le socle du moteur fixe ou dans un réservoir si le moteur est placé sur une locomobile, est aspiré par le piston dans le pulvérisateur-vaporisateur constitué par une chambre annulaire chauffée par la cheminée d'une lampe soufflée, alimentée par un réservoir spécial et portant en même temps au rouge le tube d'allumage; il est vaporisé et les vapeurs, avec la quantité d'air nécessaire, pénètrent dans la chambre de mélange.

La soupape d'entrée d'air est automatique, celle d'admission de pétrole est sous l'influence du régulateur à boules, la soupape d'échappement est commandée par came.

Dans le moteur à gaz, le régulateur agit sur la soupape d'admission de gaz qui remplace celle d'admission de pétrole; le tube d'allumage est en porcelaine.

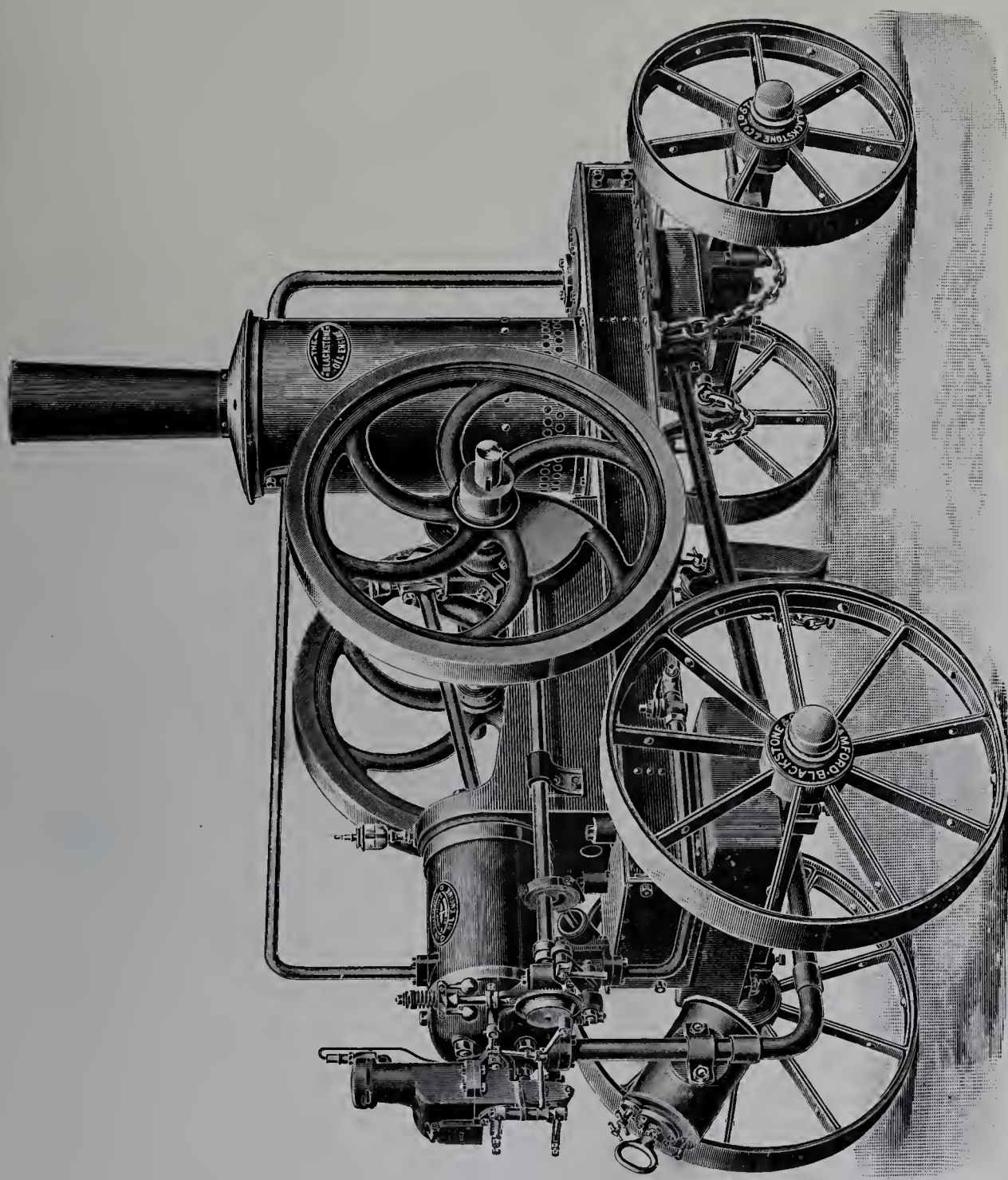


Fig. 85. — La locomobile à pétrole Blackstone.

Brouhot et Cie, à Vierzon (Cher).

La Société Brouhot et Cie exploite les machines à vapeur, le matériel agricole et les moteurs à gaz ou à pétrole, verticaux ou horizontaux, pour installations fixes ou pour locomobiles.

C. F. E.

Les moteurs de Brouhot et Cie se signalent par un régulateur à boules agissant sur la soupape d'échappement maintenue ouverte, réalisant ainsi le tout ou rien, l'action de ce régulateur pouvant être variée même en marche à l'aide d'une vis. Ce régulateur est appliqué à toutes les machines.

Dans le moteur à gaz, un robinet spécial de distribution permet d'introduire automatiquement le mélange tonnant dans la proportion convenable; ce robinet se compose d'un boisseau percé de deux orifices de dimensions appropriées, réservés l'un à l'air, l'autre à l'arrivée de gaz; ce dernier est lui-même muni d'un robinet de réglage pour tenir compte des conditions particulières de pression ou de richesse dans lesquelles on peut se trouver.

Les moteurs à essence sont munis d'un carburateur à niveau constant, constitué par un cylindre vertical dans le fond duquel se trouve une certaine quantité d'essence qui, lors du vide produit par l'admission, dégage des vapeurs. L'air entraîne ces vapeurs et le mélange se brasse en contournant des chicanes.

Le vaporisateur des moteurs à pétrole lampant comporte un réservoir à niveau constant communiquant par un clapet avec un serpentin en fonte, composé de sept à huit spires creuses à l'intérieur desquelles passe l'échappement.

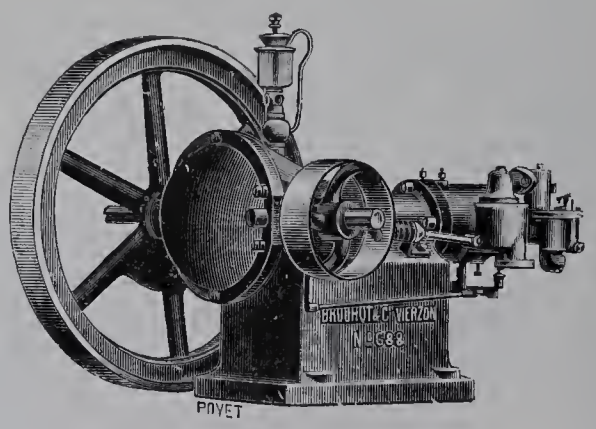


Fig. 86. — Moteur Brouhot (type léger).

Dans le réservoir à pétrole à niveau constant, se trouve un tube à parois épaisses pouvant former clapet et obstruer l'orifice de communication du réservoir et du serpentin. Dans ce tube est un piston dont la tige extérieure peut, en vissant ou en dévissant, se déplacer dans le tube. Entre la paroi du tube et le piston existe donc une cavité dont on pourra faire ainsi le volume à la main, pour le réglage.

Le tube et le piston sont reliés au levier d'échappement et munis d'un mouvement de va-et-vient tel que, le tube étant soulevé de dessus son siège, l'espace compris entre lui et le piston se remplit de pétrole, puis, le tube étant ramené sur son siège, on isole une quantité déterminée de pétrole. Le piston abaissant alors le clapet laisse couler ce pétrole qui prend sur ce parcours un peu d'air, qui le pulvérise, et le mélange va se vaporiser dans le serpentin.

La Société Brouhot construit aussi de petits moteurs légers dans lesquels le cylindre

et le socle sont venus de fonte d'une seule pièce, la culasse à circulation d'eau étant boulonnée au bout du cylindre (fig. 86).

Le vilebrequin est équilibré, le carter clos, l'allumage électrique, le carburateur à niveau constant, le régulateur, agissant par tout ou rien, est à masses maintenant la soupape d'échappement sur son siège.

Caloin et Marc, constructeurs mécaniciens, à Lille.

Le moteur Champion, construit depuis plusieurs années par MM. Caloin et Marc, figurait à l'Exposition.

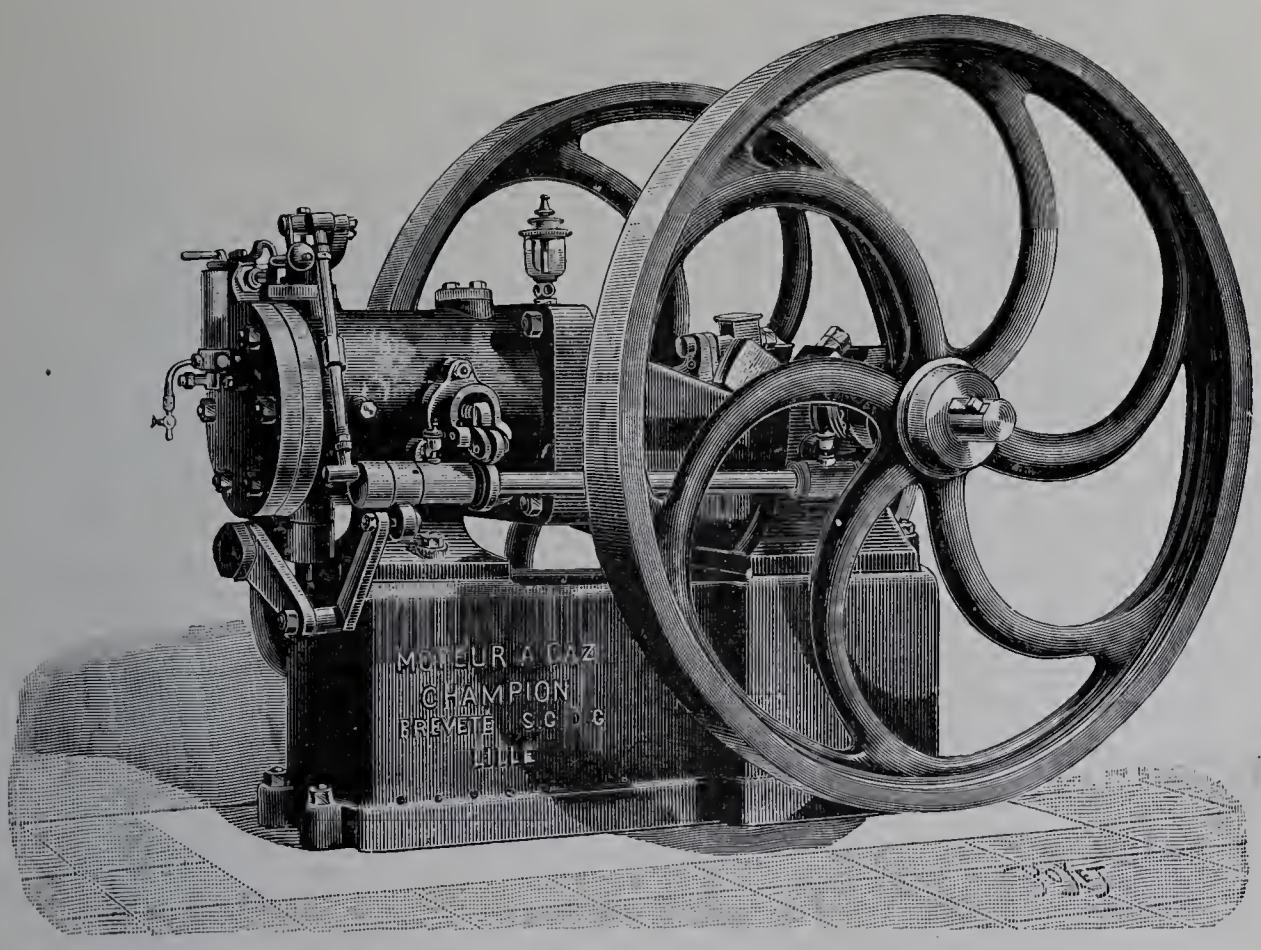


Fig. 87. — Moteur à gaz Champion.

La distribution de ce moteur est à soupapes; le régulateur à inertie commande l'admission du gaz, l'allumage est effectué par un tube à incandescence.

Le moteur a de plus une soupape dite *auxiliaire* placée sur le côté du cylindre, vers le milieu de la course du piston, qui a pour effet de prolonger la détente des gaz.

Voici le fonctionnement du moteur :

Dans la première course avant le piston aspire le mélange; dès que le piston a dépassé la soupape auxiliaire, celle-ci s'ouvre sous la poussée d'une came, et le piston, continuant d'avancer, aspire par l'orifice ainsi découvert de l'air pur qui remplit l'avant du cylindre sans se mêler sensiblement au mélange tonnant précédemment aspiré.

Au retour du piston, la soupape auxiliaire reste ouverte et l'air qui vient d'être appelé est expulsé; la compression ne commence qu'à partir du moment où le piston a de nouveau recouvert la soupape auxiliaire, qui retombe d'ailleurs à ce moment. Le cycle s'achève alors comme dans le Otto, l'explosion prend place, le piston est poussé et la détente se produit sur toute la longueur utile du cylindre, c'est-à-dire sur une longueur double de l'admission; pendant le quatrième temps, les gaz brûlés sont expulsés.

En somme, un certain volume d'air a été aspiré et expulsé pour permettre d'allonger la détente.

Compagnie du gaz, H. Riché, rue Saint-Lazare, 28, à Paris.

Le gaz Riché n'est autre chose que du gaz provenant de la distillation du bois. M. H. Riché s'est dit, avec raison, que de nombreuses usines possèdent des déchets de bois ou matières analogues qu'elles peuvent aisément transformer en un gaz combustible susceptible d'alimenter des moteurs, des appareils d'éclairage ou de chauffage.

C'est de cette idée qu'est sorti le gazogène H. Riché, lequel se compose d'une série de cornues en fonte verticales, ouvertes aux deux bouts et fermées par des tampons. Ces cornues sont chauffées de bas en haut par un foyer, alors que le bois est chargé en haut, que le gaz et le charbon de bois sortent par le bas. Il y a ainsi chauffage méthodique et création d'un gaz stable et sec (fig. 88 à 93).

Le gaz de bois chargé d'eau, d'acide carbonique et de produits goudronnés formé à la partie supérieure est, en effet, forcé, pour s'échapper, de traverser la couche inférieure de charbon de bois incandescent où les matières goudronnées se décomposent en donnant des produits stables, alors que la vapeur d'eau et l'acide carbonique fournissent de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone.

La partie inférieure des cornues se trouve portée à 900° C. environ.

Le gaz produit ne contient pas d'azote, sa composition moyenne est en volume la suivante :

Acide carbonique	20 p. 100
Oxyde de carbone	20
Protocarbure d'hydrogène	15
Hydrogène	45

Puissance calorifique moyenne, 3,100 calories au mètre cube.

De très intéressantes installations d'éclairage, chauffage ou force motrice ont été faites déjà avec cet appareil.

On a pu notamment obtenir dans des fours à moufle à récupération alimentés par ce gaz des températures de 950° C. et réaliser le cheval-heure effectif avec de 900 à 1,200 litres de gaz, dans de bons moteurs modernes.

On compte généralement que 1,400 kilogrammes de bois, ou déchets de bois, dis-

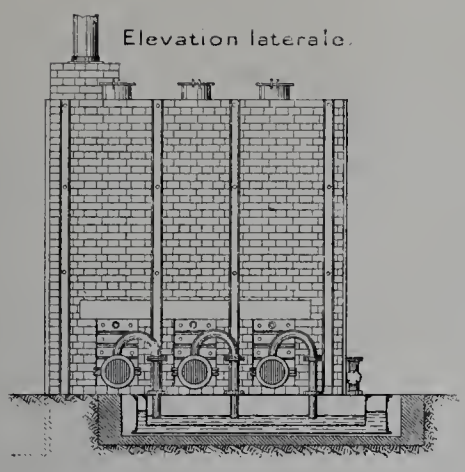


Fig. 88. — Élévation latérale.

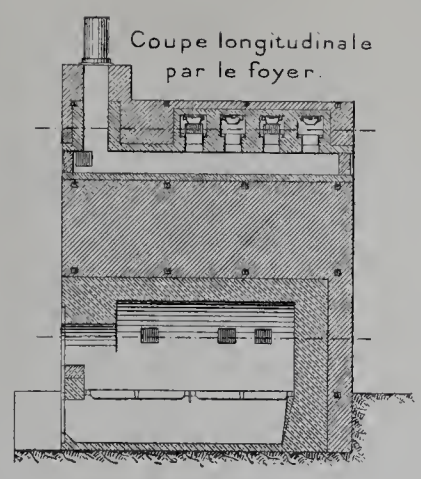


Fig. 90. — Coupe longitudinale par le foyer.

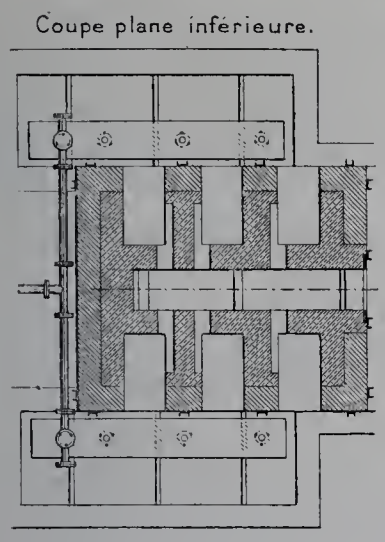


Fig. 89. — Coupe plane inférieure

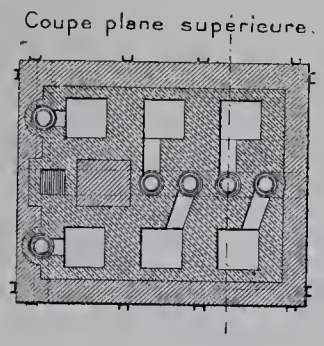


Fig. 91. — Coupe plane supérieure.

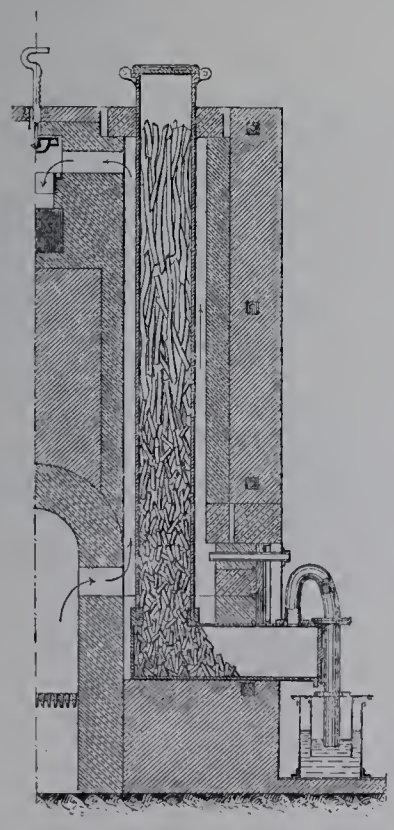


Fig. 92. — Coupe transversale par une cornue.

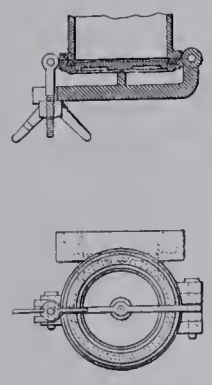


Fig. 93. — Détails des tampons des cornues.

tillés, grâce à 560 kilogrammes de houille ordinaire, donneront normalement 1,000 mètres cubes de gaz et 260 kilogrammes de charbon de bois.

En remplaçant la houille par 1,200 à 1,600 kilogrammes de bois ou déchets, on peut dire que 3,000 kilogrammes de bois ou déchets donneront 1,000 mètres cubes d'un gaz à au moins 3,000 calories, et 260 kilogrammes de charbon de bois.

Compagnie parisienne de l'air comprimé, à Paris.

Cette compagnie exposait une série de moteurs à air comprimé :

1° Un moteur rotatif de un cheval à détente (fig. 94, 95, 96);

2° Un moteur vertical de deux chevaux, à simple effet.

Ce dernier moteur est à grande détente. Par son système de distributeurs coniques indépendants, il peut fonctionner soit avec de l'air réchauffé, soit avec de l'air froid.

Dans ce dernier cas l'abaissement de température est considérable, puisque la détente est poussée jusqu'à l'atmosphère même, quand le moteur agit en pleine détente.

L'admission est variable par le régulateur.

Cette compagnie expose encore un moteur spécial de un cheval construit par la maison Piguet, bien connue pour ses machines à vapeur.

Il se compose d'un moteur proprement dit et d'un compresseur. Lorsqu'on veut faire produire au moteur un travail utile, on laisse libre le refoulement du compresseur et on attèle le moteur à un outil quelconque.

Lorsqu'on ne veut pas produire de travail utile, on règle le refoulement de façon à comprimer de l'air et par conséquent à absorber le travail du moteur. Dans l'un comme dans l'autre cas, on peut utiliser tout le froid dû à la détente de l'air à la fabrication de la glace ou au refroidissement des glacières.

Em. Delahaye et Cie, à Paris.

Cette société exposait deux types de machines bien différents : 1° un modèle vertical à gaz, industriel, de 1-2 chevaux, fixe; un modèle identique fonctionnant à l'essence et monté sur chariot, formant ainsi une locomobile: 2° quatre moteurs à grande vitesse susceptibles d'applications fixes ou mobiles spéciales, convenant en particulier à la conduite d'automobiles, sur lesquels ils ont eu déjà un certain succès.

Les moteurs fixes verticaux sont du genre pilon, type marine, à un cylindre à simple effet placé à la partie supérieure; pas de glissière, distribution par soupapes, régulateur à boules, refroidissement par circulation d'eau (fig. 97).

Les moteurs à grande vitesse étaient représentés par deux moteurs de 5 chevaux à un cylindre et deux moteurs de 10 chevaux à 2 cylindres, du même genre, accouplés.

Les moteurs horizontaux ont les bielles calées à 180°, les pièces en mouvement sont équilibrées, le graissage se fait par barbotage et par force centrifuge.

La vitesse normale est de 900 tours à la minute.

MOTEUR À AIR COMPRIMÉ.

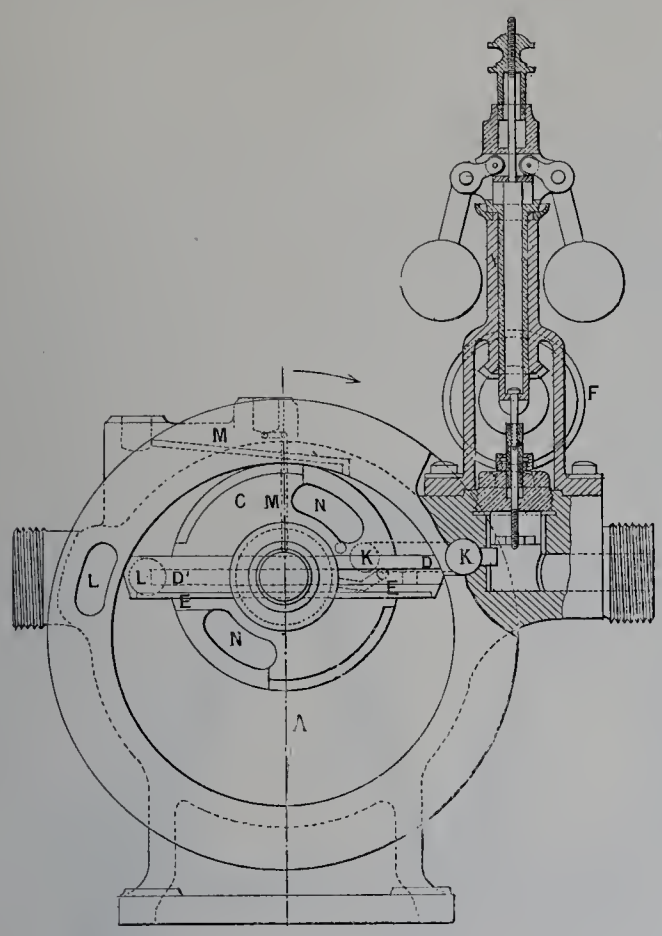


Fig. 94. — Coupe par le régulateur et vue intérieure du cylindre.

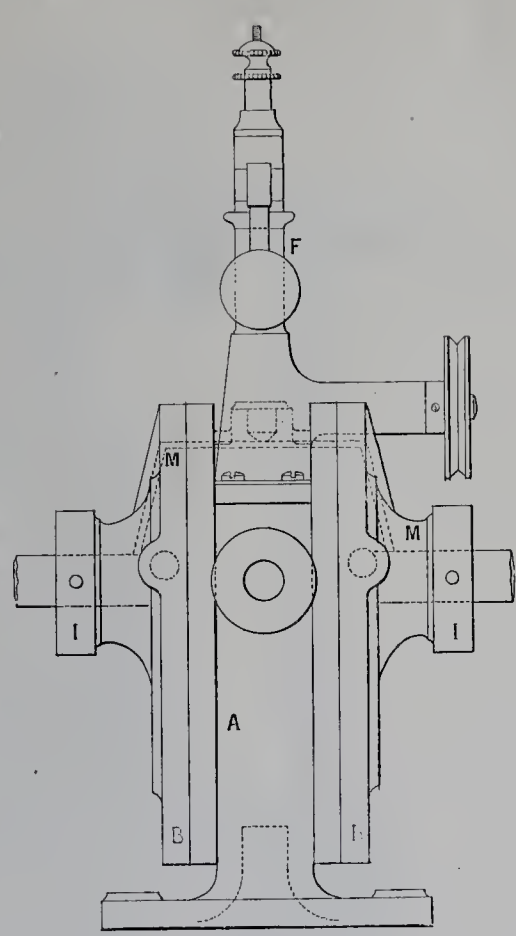


Fig. 96. — Élévation.

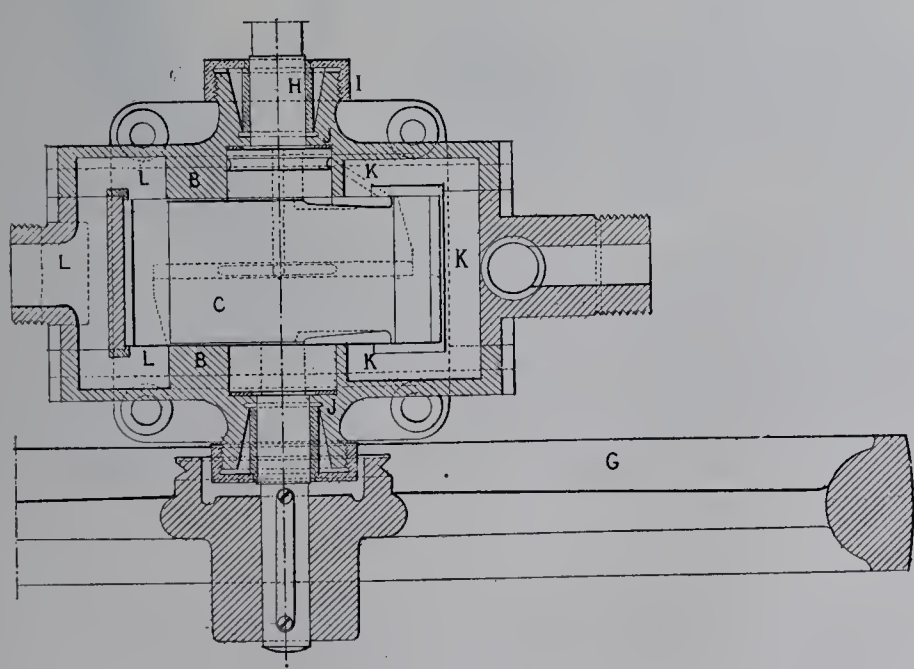


Fig. 95. — Coupe plane.

La distribution se fait par soupapes verticales superposées, l'admission est automatique, l'échappement est commandé par came et levier; l'arbre de distribution est

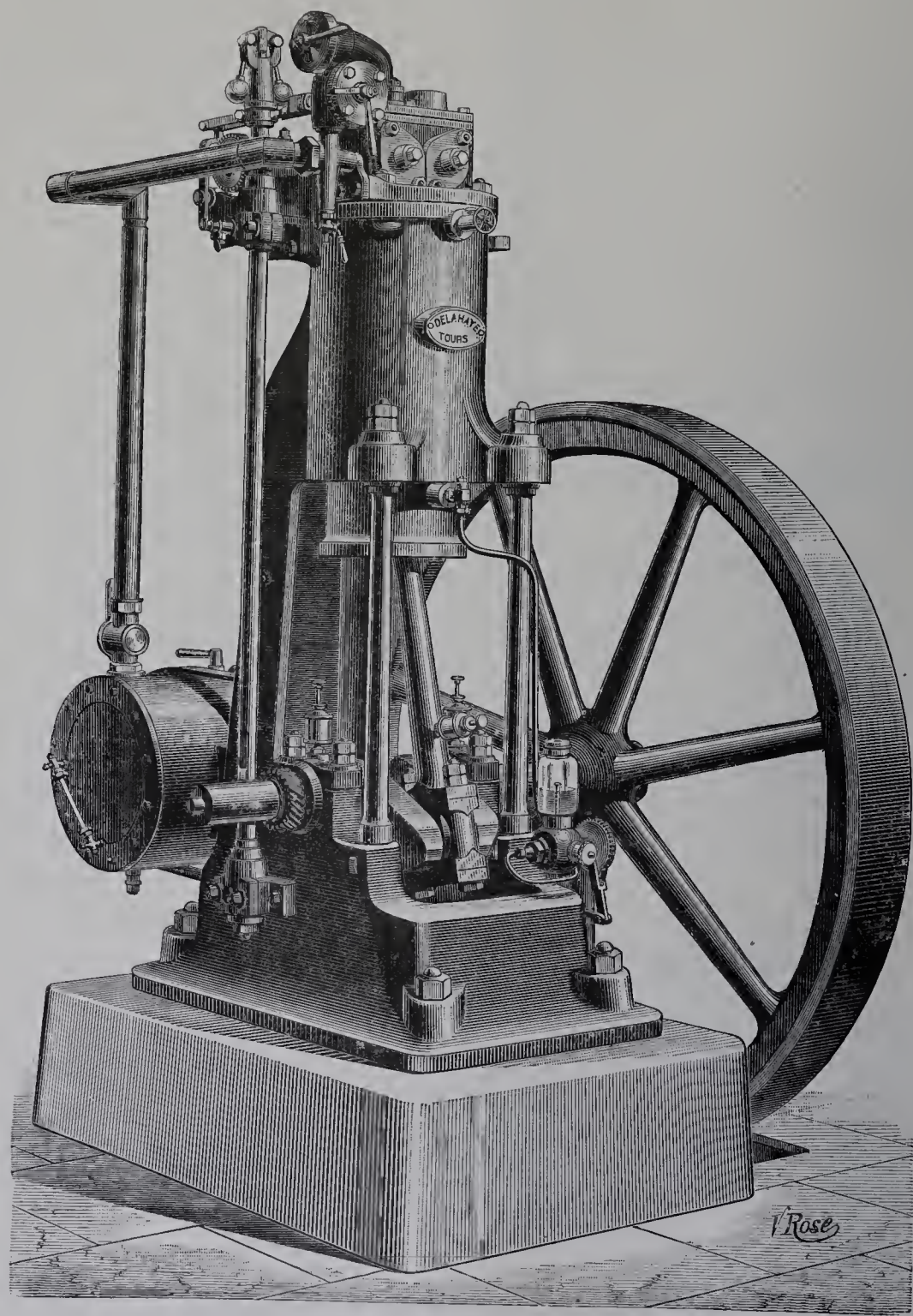


Fig. 97. — Moteur Delahaye (type fixe à essence).

parallèle à l'arbre moteur. l'allumage est électrique, le refroidissement se fait par eau pour les culasses et par l'air admis au carburateur pour les cylindres. Le réglage s'obtient en agissant sur l'admission et l'avance à l'allumage.

Le carburateur à barbotage est à niveau constant. Un carter enveloppe l'arbre moteur (fig. 98 à 101).

MOTEUR DELAHAYE À ESSENCE (TYPE LÉGER).

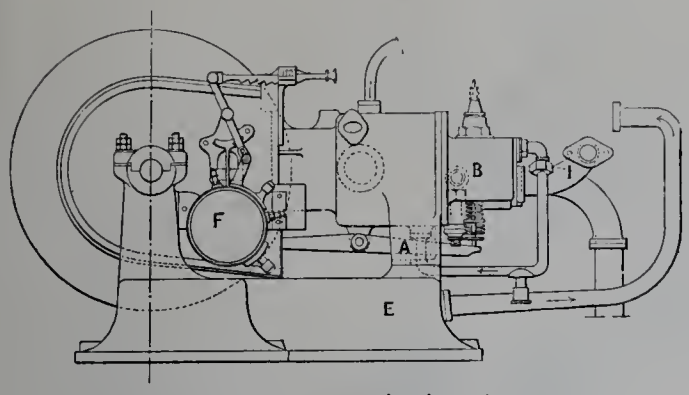


Fig. 98. — Elévation latérale.

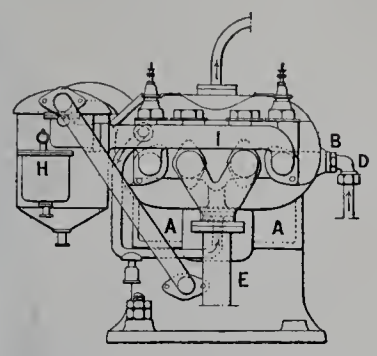


Fig. 100. — Vue arrière.

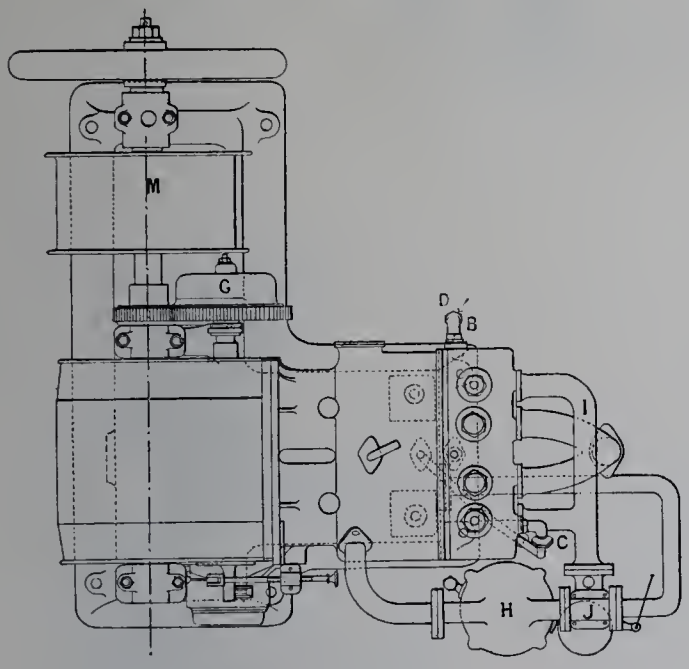


Fig. 99. — Plan.

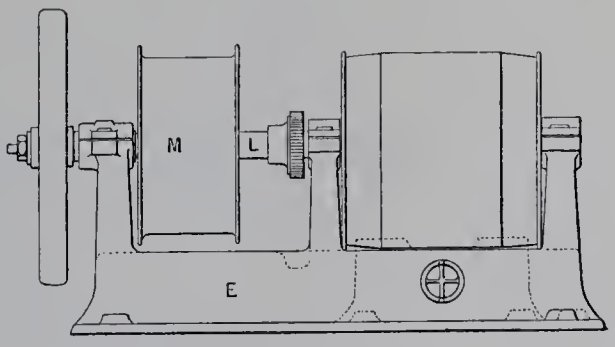


Fig. 101. — Vue avant.

Fritscher et Houdry, ingénieurs constructeurs, à Provins (Seine-et-Marne).

Le prédécesseur de MM. Fritscher et Houdry, M. Noël, avait exposé en 1889, et à cette époque il avait déjà livré une cinquantaine de moteurs. C'est dire que cette maison est une des plus anciennes de France s'occupant de la fabrication des moteurs à gaz.

MM. Fritscher et Houdry exposent :

1° Un moteur horizontal de 1 ch. 1/3;

2° Un moteur horizontal de 10 chevaux;

3° Un moteur vertical de 3 ch. 1/2.

Tous ces moteurs fonctionnent d'après le cycle à quatre temps, mais ils diffèrent de la plupart des autres moteurs exposés par le mode de réglage.

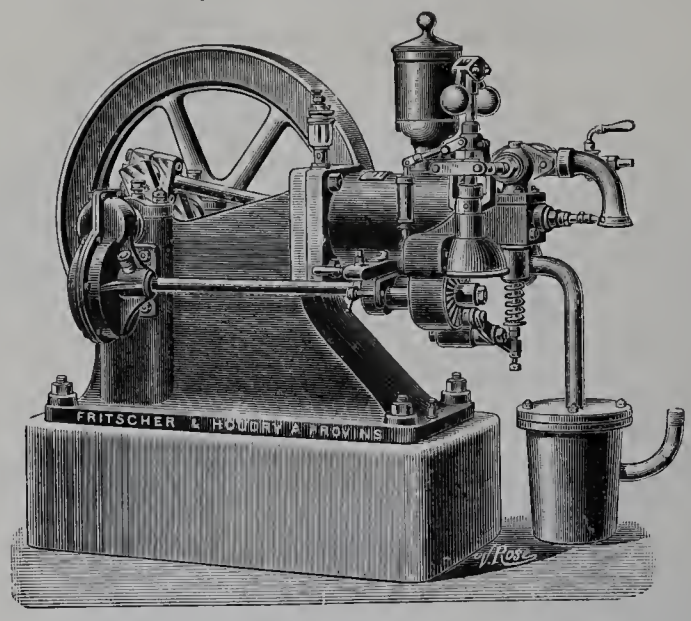


Fig. 102. — Moteur à essence Fritscher et Oudry.

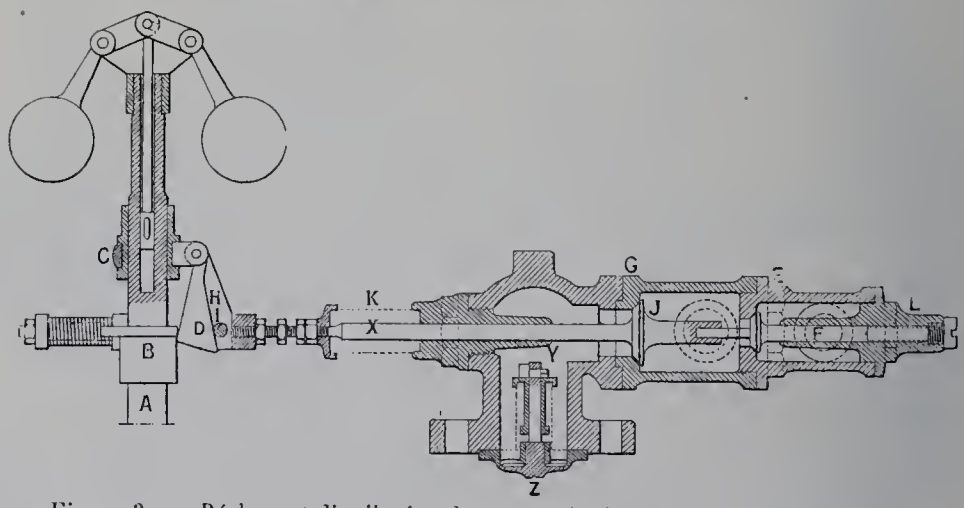
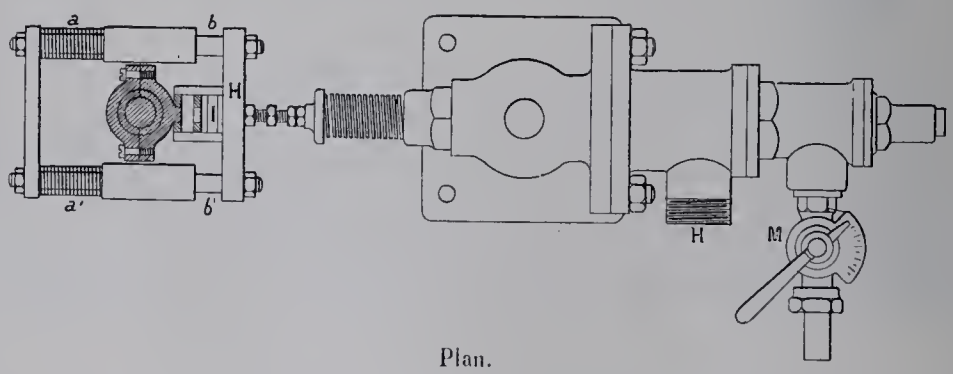


Fig. 103. — Réglage et distribution du moteur horizontal (coupe longitudinale).



Plan.

Dans le moteur de 10 chevaux, le réglage se fait par étranglement de la conduite d'admission, l'admission est par conséquent variable, mais la compression l'est aussi et le rendement s'en ressent (fig. 102).

Voici le dispositif adopté par ces constructeurs (fig. 103) :

La soupape Z d'admission s'ouvre automatiquement et laisse passer les gaz d'une chambre Y qu'une soupape fait communiquer avec une chambre J où une prise d'air H aboutit, et par une deuxième soupape E avec une chambre où aboutit la prise de gaz F.

Les dimensions des orifices H et F règlent la proportion constante de gaz et d'air; les soupapes non automatiques G et E sont commandées par la tige X et ramenées sur leurs sièges par les ressorts K et E. Quand ces soupapes sont fermées et que le moteur a prise par la soupape Z, la dépression les contient sur leurs sièges.

Il est facile de voir maintenant l'action du régulateur à boules. L'arbre auxiliaire A qui fait mouvoir le régulateur porte la came B qui, par l'intermédiaire de la pièce D et de la touche I, soulève les soupapes d'une quantité d'autant plus grande que la pièce D, qui a la forme d'un coin, est plus ou moins relevée. Cette pièce D, qui tourne sur une charnière, est attachée à une bague C qui est elle-même levée ou abaissée par l'action des boules du régulateur.

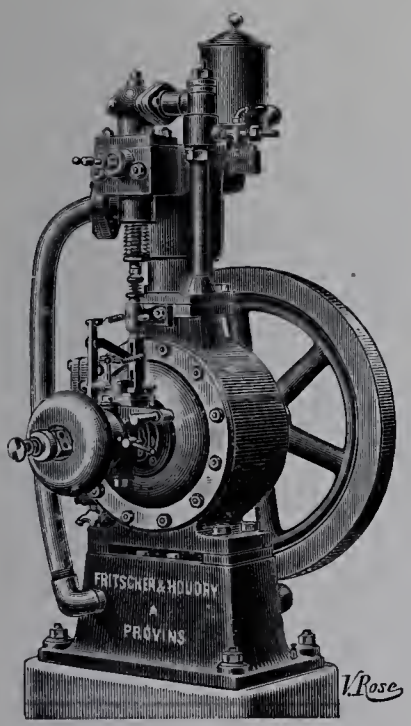


Fig. 104. — Moteur à essence Fritscher et Houdry.

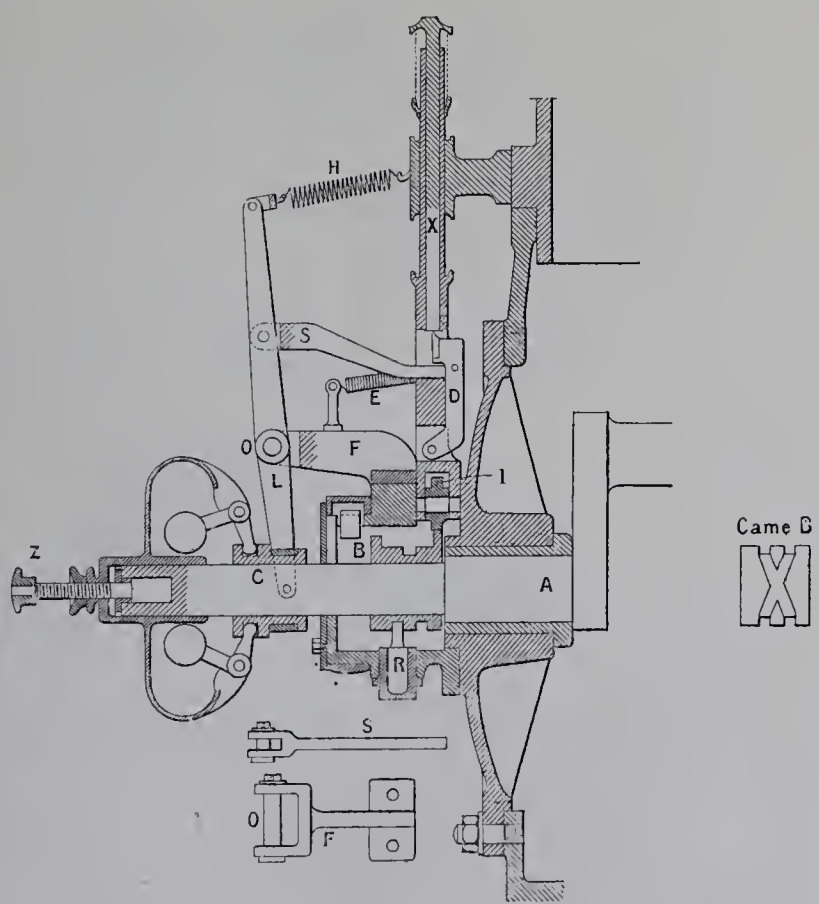


Fig. 105. — Réglage et distribution du moteur vertical (coupe longitudinale).

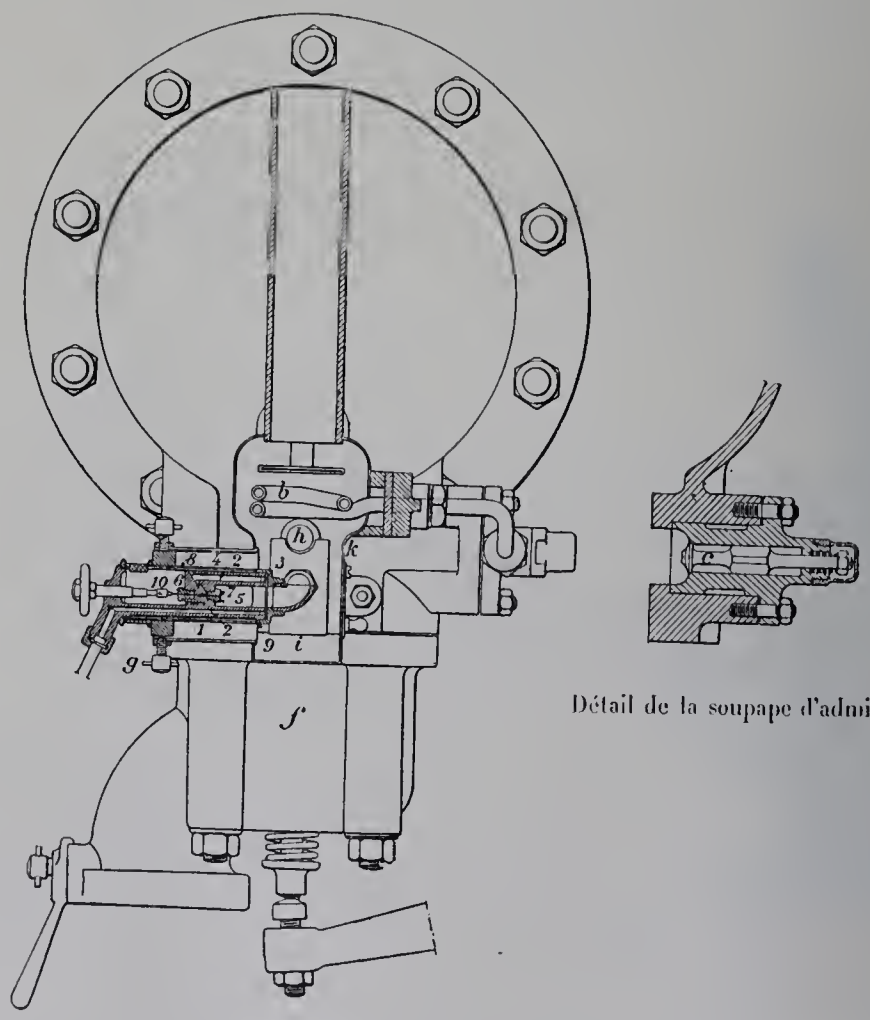
Le mode de réglage du moteur vertical est tout à fait différent, il procède du tout ou rien (fig. 104 et 105).

Une came munie d'une double rainure en 8, grâce à laquelle elle se déplace sur son arbre, remplit la double fonction alternante de l'allumage et de la décharge, en agissant tour à tour sur une touche de contact et sur la tige de la soupape de décharge.

La soupape d'admission est automatique. Le régulateur à axe horizontal tient la décharge sous sa dépendance en enclouant la soupape d'échappement et en lui défendant de s'ouvrir aussitôt que la vitesse s'exagère.

Compagnie des moteurs universels, rue Lafayette, 46, à Paris.

La Compagnie des moteurs universels exploite le moteur Grob fonctionnant au gaz, mais surtout au pétrole lampant. Il existe différents modèles de moteur Grob. Les uns, pour applications fixes, sont indifféremment verticaux ou horizontaux; les autres, pour applications à des bateaux, des locomobiles ou autres appareils, sont verticaux. Ces derniers moteurs se font à un ou plusieurs cylindres, alors que les moteurs fixes sont toujours à un cylindre.



Détail de la soupape d'admission.

Fig. 106. — Moteur Grob à pétrole (coupe du carburateur).

Tous les moteurs verticaux Grob sont du type pilon, et les moteurs horizontaux à cylindre en porte à faux sur le bâti.

Les moteurs à pétrole Grob sont à distribution par soupapes, à refroidissement par

circulation d'eau, à pompe d'injection de pétrole, à vaporisateur chauffé par une lampe formant tube d'allumage. La soupape d'admission est automatique, celle d'échappement commandée. La régulation se fait par tout ou rien, en maintenant l'échappement ouvert et en arrêtant la soupape. Le régulateur peut être du type à inertie ou à boules. Une petite quantité d'air est adjointe au pétrole avant d'entrer au vaporisateur. Les détails de construction, pompes, etc., sont très étudiés.

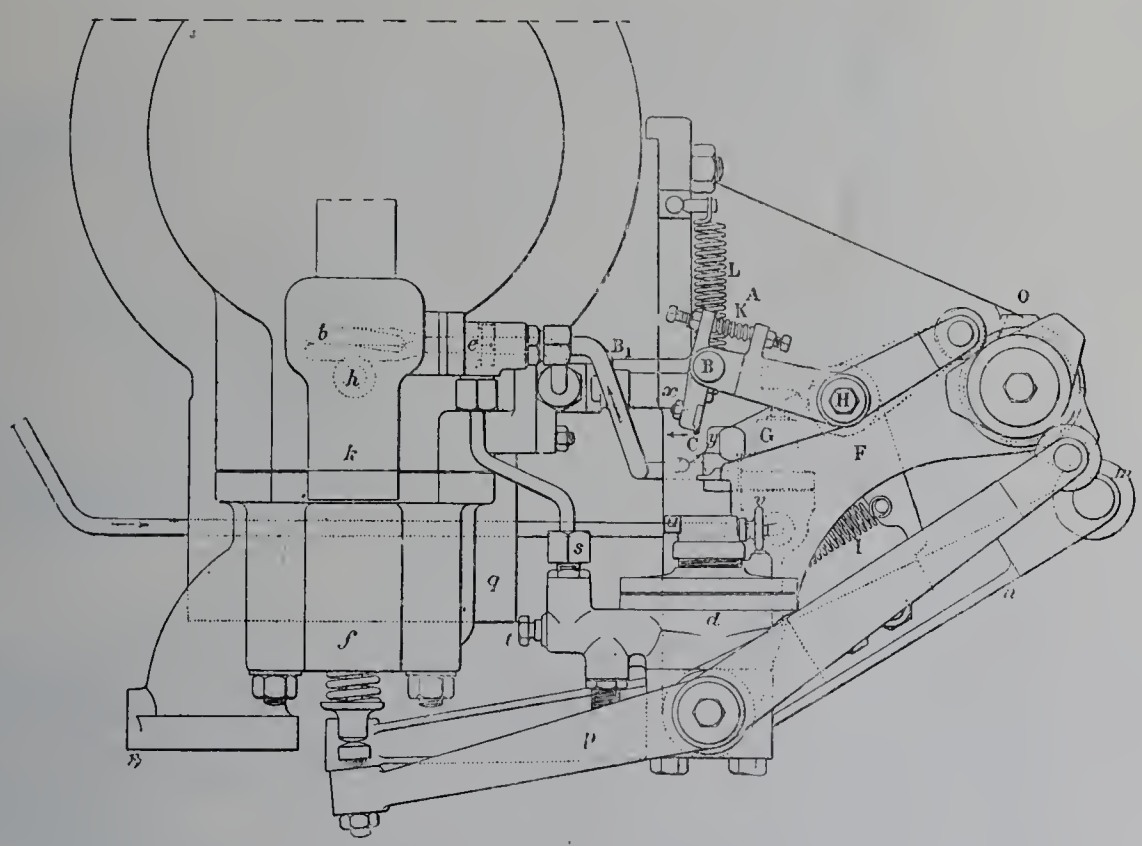


Fig. 107. — Moteur Grob à pétrole (vue de la distribution).

A signaler un nouveau modèle (fig. 106 et 107) dans lequel il existe une pompe à pétrole et une pompe de compression d'air. Au moment voulu, l'air comprimé au moyen d'une sorte de Giffard entraîne le pétrole qu'il pulvérise et auquel il fait traverser un serpentin placé au-dessus du brûleur qui chauffe le tube d'allumage. Ce mélange est ainsi injecté au cylindre chargé d'air. Un régulateur d'inertie très ingénieux arrête la pompe à pétrole et l'échappement. En voici la description (fig. 108) :

Deux cames de l'arbre de distribution agissent à la fois sur deux leviers, l'un commandant la soupape d'échappement et portant un arrêt permettant de la maintenir ouverte, l'autre agissant sur la pompe à pétrole par l'intermédiaire de deux couteaux. Le premier fait corps avec une masse pendulaire portée par ledit levier et se déplace avec lui, le second actionne directement la pompe, le cas échéant, et fait corps avec le doigt qui peut arrêter l'échappement.

Quand la vitesse est normale, le levier qui porte le régulateur est lancé avec une vitesse telle que le pendule a le temps de revenir attaquer le couteau de la pompe, de

faire manœuvrer celle-ci et de faire échapper le doigt susceptible de caler l'échappement. Si la vitesse est trop grande, le pendule dont la vitesse de chute est constante

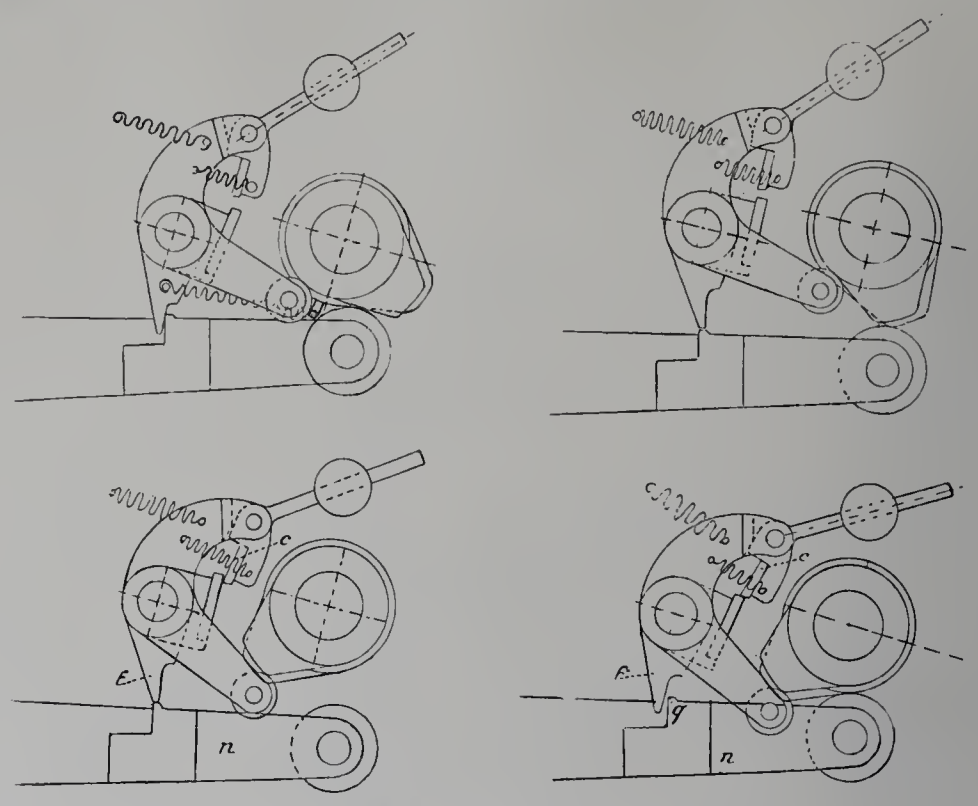


Fig. 108. — Moteur Grob à pétrole (régulateur).

échappe le couteau; la pompe ne manœuvre pas et le doigt non déplacé maintient la soupape d'échappement ouverte.

Howard, James et Frédérick, à Bedford.

Cette maison expose un moteur à pétrole genre Otto.

Une pompe refoule le moteur à pétrole dans un pulvérisateur qui l'injecte dans un vaporisateur chauffé par une lampe à courant d'air forcé. Ce vaporisateur consiste en un corps en fonte dans lequel sont ménagées des conduites pour la vaporisation. Sa partie inférieure, munie d'ailettes, est placée obliquement dans une cheminée, dont les parois sont revêtues d'amiante, et chauffée par le chalumeau formé par la lampe; il est donc maintenu à une température très élevée.

L'air est chauffé dans le même appareil, le mélange est encore chauffé pour assurer sa combustion.

La pompe d'alimentation peut être réglée à la main, mais elle est sous l'action du régulateur.

Le moteur proprement dit n'offre aucune particularité; il est semblable au moteur anglais, genre Otto, déjà décrit.

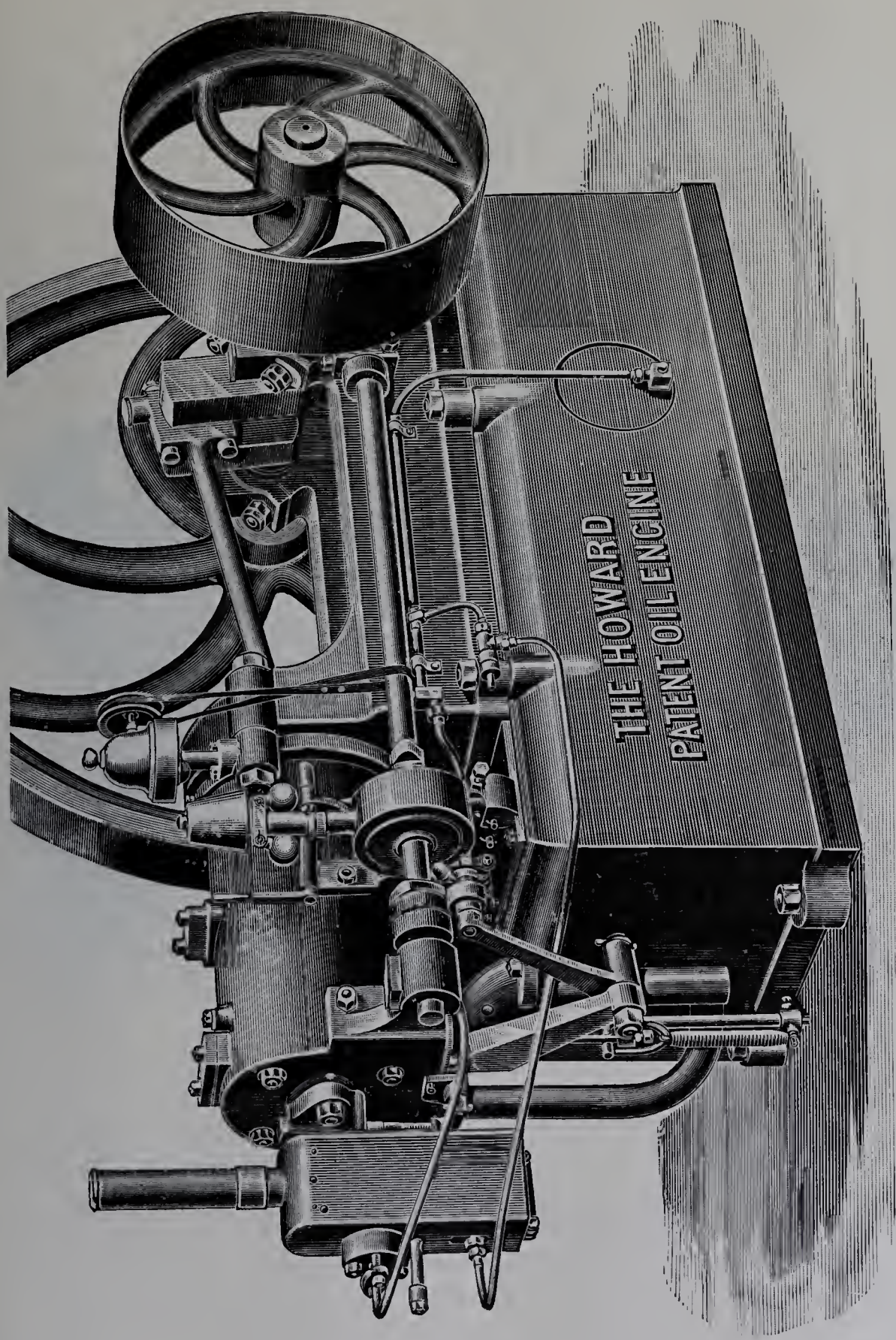


Fig. 109. — Moteur à pétrole Howard.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Humpidge, Holborow and Company limited, à Stroud (Gloucestershire).

Ces constructeurs exposent au Champ-de-Mars, sous la dénomination *Dudbridge*, des moteurs à gaz et à pétrole, genre Otto, de 2, 4, 5 et 15 chevaux.

Les soupapes d'admission d'air et de gaz et la soupape d'échappement sont commandées par cames; elles sont d'un accès facile.

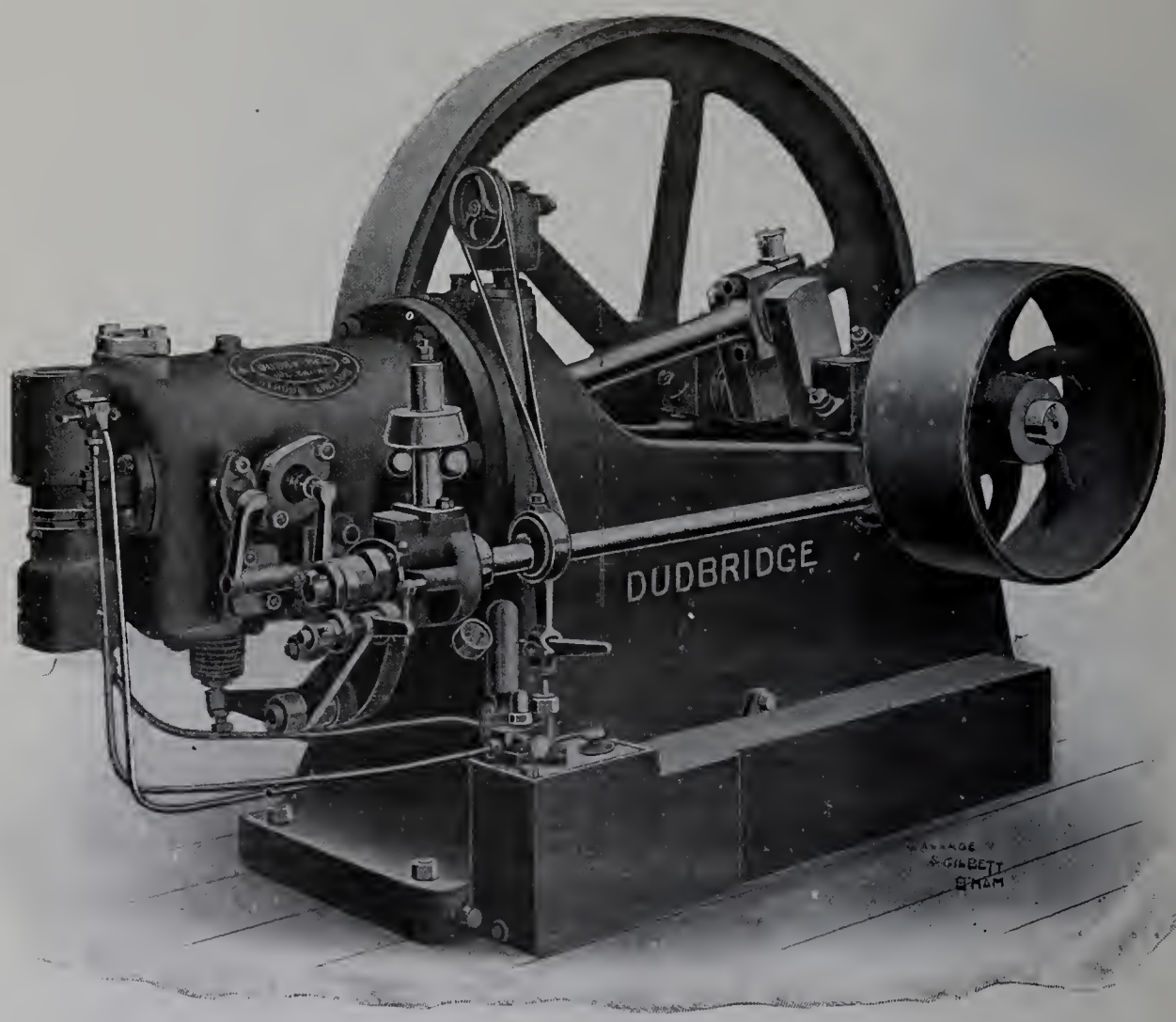


Fig. 110. — Moteur à pétrole Dudbridge.

L'allumage se fait par incandescence et la régularisation par tout ou rien.

Un dispositif spécial facilite la mise en marche. Par le déplacement d'un manchon, les soupapes d'admission s'ouvrent, le mélange pénètre dans le cylindre. On tourne en sens inverse pour comprimer le mélange, mais dans ce mouvement l'arbre fait déplacer la came de mise en marche, les soupapes d'admission se ferment, les gaz sont comprimés et il suffit d'un peu plus de la moitié d'une course pour que la compression soit suffisante pour l'allumage; l'impulsion ainsi obtenue est suffisante pour mettre en route le moteur.

Le moteur à pétrole est semblable à celui à gaz, au vaporisateur près.

H. Lacroix et Cie, à Caen.

Cette maison exposait des moteurs à pétrole lampant et des moteurs à gaz, mais elle s'occupe surtout des premiers, qu'elle monte sur des batteuses.

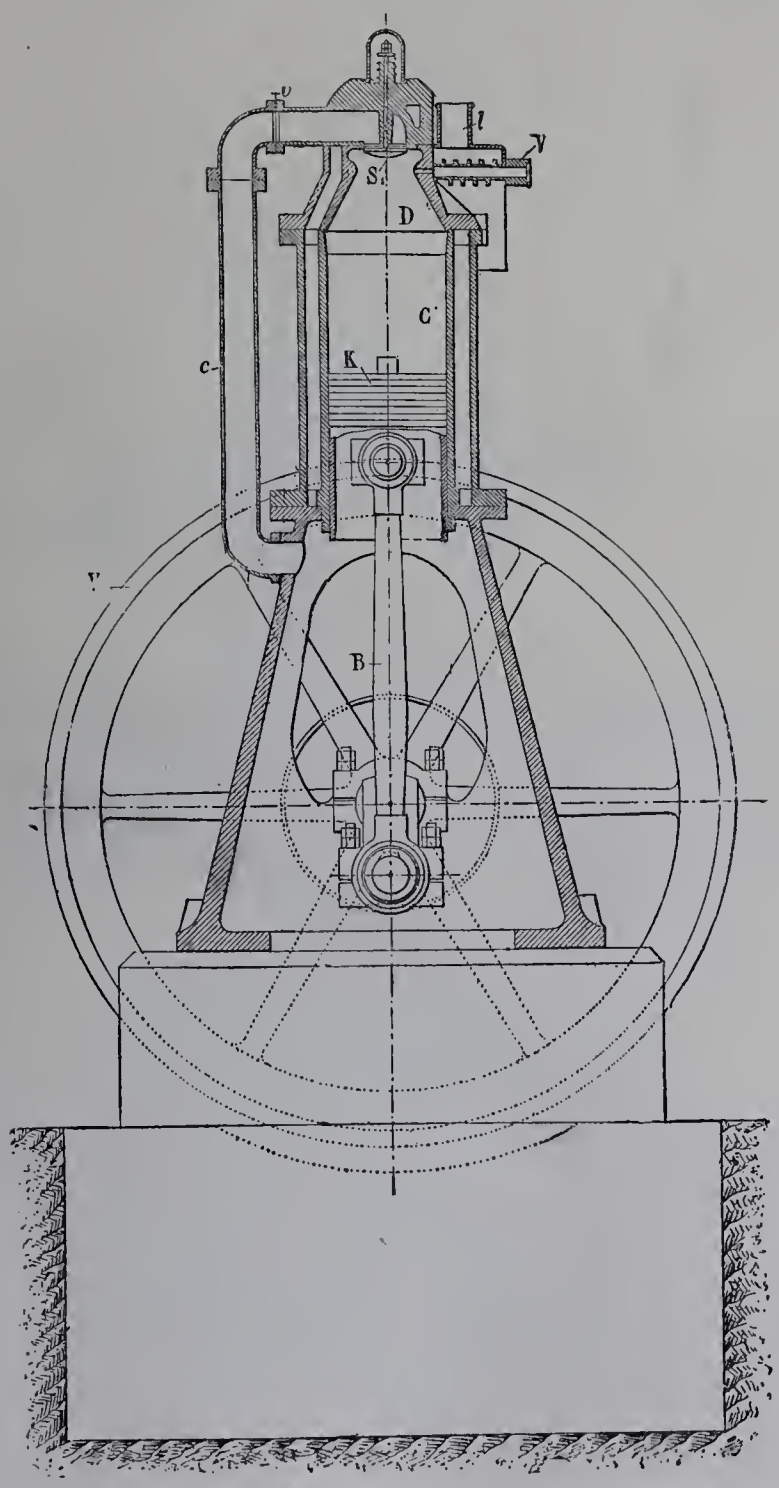


Fig. 111. — Moteur Lacroix (coupe transversale).

Ces moteurs marchent également à l'alcool et sont de deux types, verticaux ou horizontaux.

Dans l'un comme dans l'autre, le cylindre est unique, à simple effet, la distribution par soupapes, l'admission automatique, l'échappement commandé, la régulation par tout ou rien, en agissant sur la soupape d'échappement maintenue ouverte, le régulateur à boules, l'allumage par tube à communication constante, et le refroidissement par circulation d'eau.

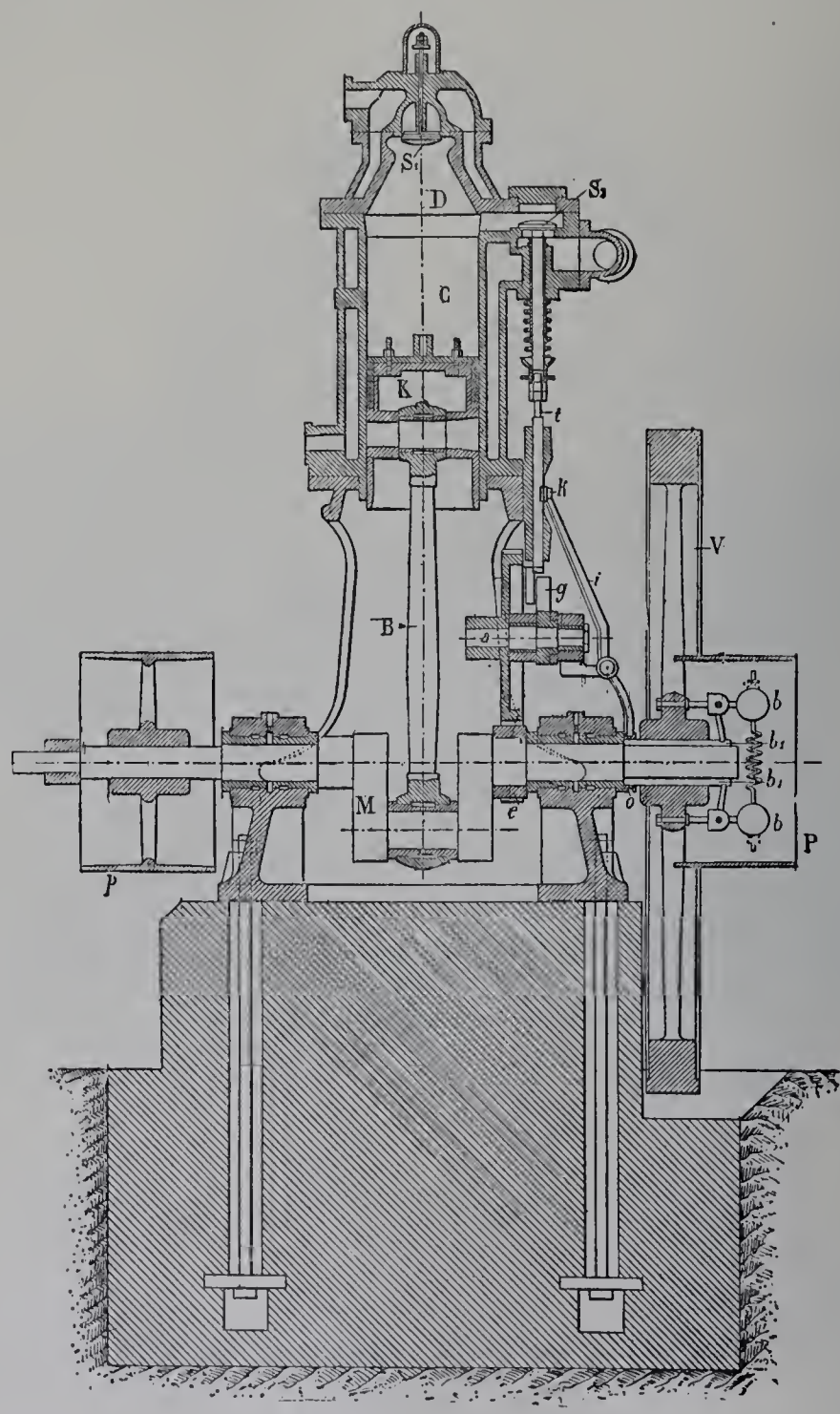


Fig. 112. — Moteur Lacroix (coupe longitudinale).

Dans les moteurs à pétrole le vaporisateur joue le rôle de tube d'allumage et le pétrole y est envoyé, par une pompe, à travers un clapet. Ce vaporisateur est disposé

d'une façon telle que pour les machines travaillant normalement à plus de demi-charge il n'est pas nécessaire de maintenir le brûleur allumé. Dans les moteurs à gaz ce vaporisateur est remplacé par un tube ordinaire en porcelaine.

Les moteurs verticaux sont du type pilon, les moteurs horizontaux à cylindre en porte à faux sur le bâti et à arbre auxiliaire parallèle au cylindre.

A. Loyal, rue Saint-Maur, 204, à Paris.

Le moteur Loyal exposé date de 1896. C'est un moteur très intéressant dont le principe diffère sensiblement de ce que nous avons vu jusqu'à présent.

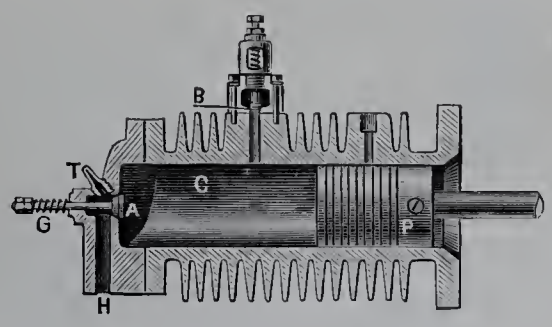


Fig. 113. — Moteur Loyal (coupe longitudinale du cylindre).

Le voici. Prenons (fig. 113) un cylindre quelconque de moteur, munissons son fond d'une soupape d'admission d'un mélange explosif quelconque et d'un tube d'allumage.

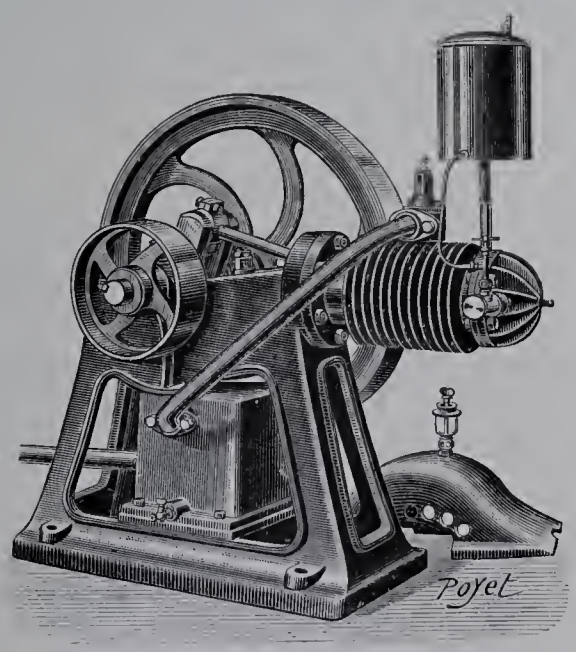


Fig. 114. — Moteur Loyal (élévation).

Doublons ce cylindre de longueur et à la jonction des deux demi-cylindres plaçons une soupape d'échappement s'ouvrant de l'intérieur à l'extérieur. Le fonctionnement sera le suivant : le piston partant en avant sous l'influence de l'explosion, la détente se fera

derrière lui comme dans un moteur ordinaire. Arrivé à moitié course, c'est-à-dire à fin de course d'un moteur courant, le piston découvre la soupape d'échappement qui, sous l'action de la pression, s'ouvre automatiquement, laissant s'échapper les produits de la combustion et la pression dans le cylindre s'égaliser sensiblement avec celle de l'atmosphère. Le piston continuant son mouvement, cette soupape d'échappement se ferme; un vide se fait derrière elle et la soupape d'admission se soulève, laissant pénétrer une cylindrée de mélange. Au retour, la soupape d'échappement se soulève à nouveau et laisse fuir les produits de la combustion restés dans le cylindre, puis quand elle est recouverte, la compression commence et ainsi de suite.

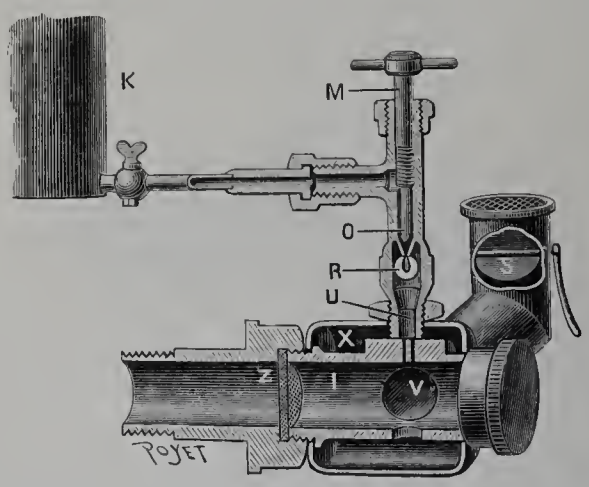


Fig. 115. — Carburateur Loyal.

En somme, nous avons ainsi un véritable moteur à quatre temps dont les opérations se passent en deux courses, grâce à l'augmentation de longueur du cylindre.

Les moteurs présentés étaient destinés surtout aux petites forces à gaz, à l'essence ou au pétrole.

Le moteur Loyal (fig. 114) est un moteur horizontal à cylindre en porte à faux sur le bâti, à refroidissement par ailettes, à tube auto-incandescent, car il se tient suffisamment chaud pour que l'allumage se fasse de lui-même sans le brûleur qui ne sert qu'à la mise en marche. Dans le cas d'alimentation au pétrole, celui-ci arrive en charge d'un réservoir porté par le moteur, tombe goutte à goutte dans un conduit perforé, par les trous duquel arrive l'air, et se rend au cylindre (fig. 115).

Fabrique de machines de Kappel, à Chemnitz (Allemagne).

Le moteur Kappel est du genre Otto qu'il rappelle de plus par son aspect général. Il en diffère toutefois par la position des soupapes qui toutes, avec le mécanisme de distribution, sont disposées sur la culasse; grâce à ce dispositif le cylindre est facile à remplacer.

La soupape d'échappement est commandée par un levier recevant son mouvement d'un arbre de distribution parallèle à l'arbre de couche.

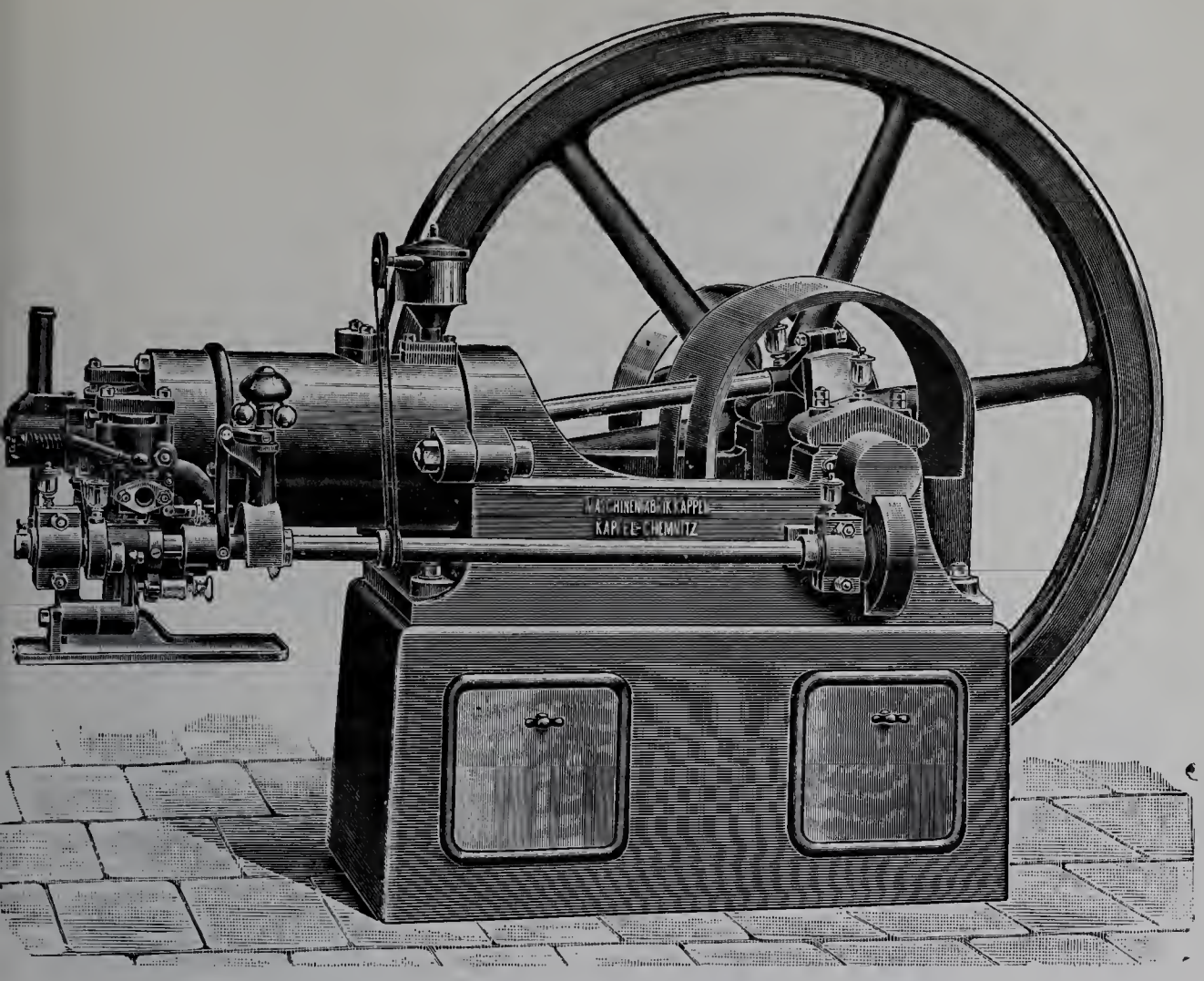


Fig. 116. — Moteur à gaz Kappel.

Les soupapes d'admission et de mélange sont commandées par un levier et une bielle parallèle à l'axe du cylindre.

Le régulateur agit sur la soupape d'admission de gaz.

MM. Mietz Weiss, à New-York.

Le moteur exposé par MM. Mietz Weiss est du type dit à *deux temps,* horizontal, à cylindre en porte à faux sur le bâti, à carter clos à l'avant formant pompe de refoulement (fig. 117, 118). Le piston étant à fond de course arrière, l'explosion se produit, lançant en avant le piston qui comprime légèrement devant lui l'air contenu dans le carter. À un moment donné le piston découvre en même temps et une ouverture d'échappement et une ouverture d'admission, faisant communiquer le cylindre avec l'air du carter sous pression légère. Celui-ci refoule devant lui les produits de la combustion et remplit le cylindre. Le piston revenant sur ses pas expulse les produits de la combustion derrière lui, puis comprime le mélange explosif et opère l'allumage, tandis que l'admission d'air se fait dans le carter, dès que le piston découvre une simple ouverture.

Un déflecteur porté par le piston empêche la sortie directe par l'échappement du mélange admis. Dans le moteur à pétrole (fig. 117), celui-ci est injecté dans l'air du

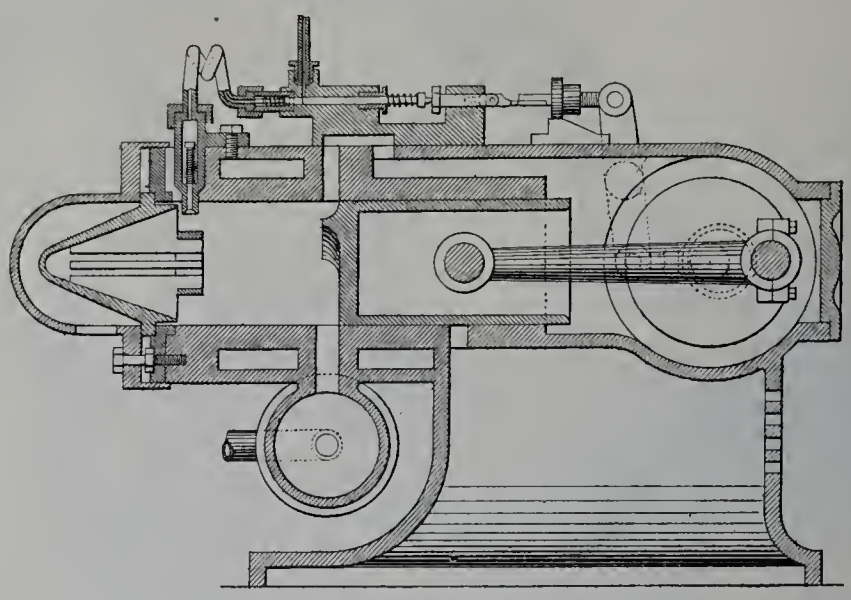


Fig. 117. — Moteur Mietz à pétrole (coupe longitudinale).

cylindre, à l'aide d'une petite pompe mue par une came commandant leviers et tiges et portant un contrepoids qui se déplace sur un plan incliné. Si la vitesse est trop grande,

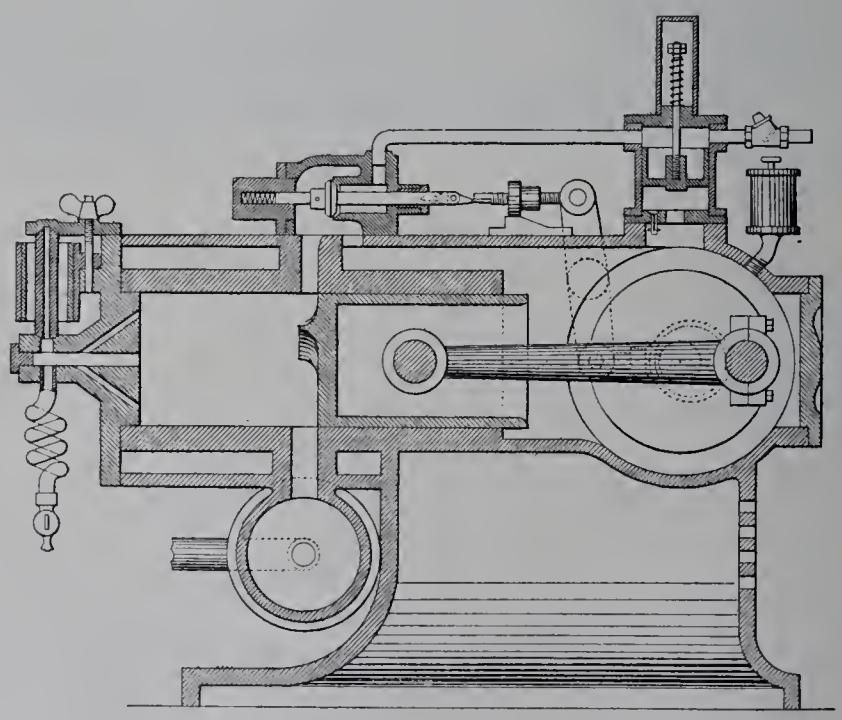


Fig. 118. — Moteur Mietz à gaz (coupe longitudinale).

la masse butant sur le plan incliné trop violemment s'écarte de la tige et la pompe n'est pas actionnée. C'est le tout ou rien.

L'allumage se fait alors automatiquement par simple compression, le fond du cylindre n'étant pas refroidi et étant même protégé par une enveloppe. On chauffe ce fond du

cylindre pour la mise en marche. Dans l'emploi du gaz, celui-ci se mélange à l'air au moment de son entrée au cylindre; pour cela il est légèrement comprimé par une sorte de petit compresseur mû par l'air du carter avant (fig. 118).

Le gaz est commandé par une soupape-régulateur actionnée de même façon que la pompe à pétrole. L'allumage se fait par tube incandescent en porcelaine ouvert aux deux bouts. Dans tous les cas, le cylindre est refroidi par circulation d'eau.

Merlin et Cie, à Vierzon (Cher).

M. Merlin, lauréat du concours de Meaux, en 1894, pour ses moteurs à pétrole lampant, construit des moteurs à pétrole ou à gaz, fixes ou locomobiles, verticaux ou horizontaux.

MOTEURS À PÉTROLE MERLIN.

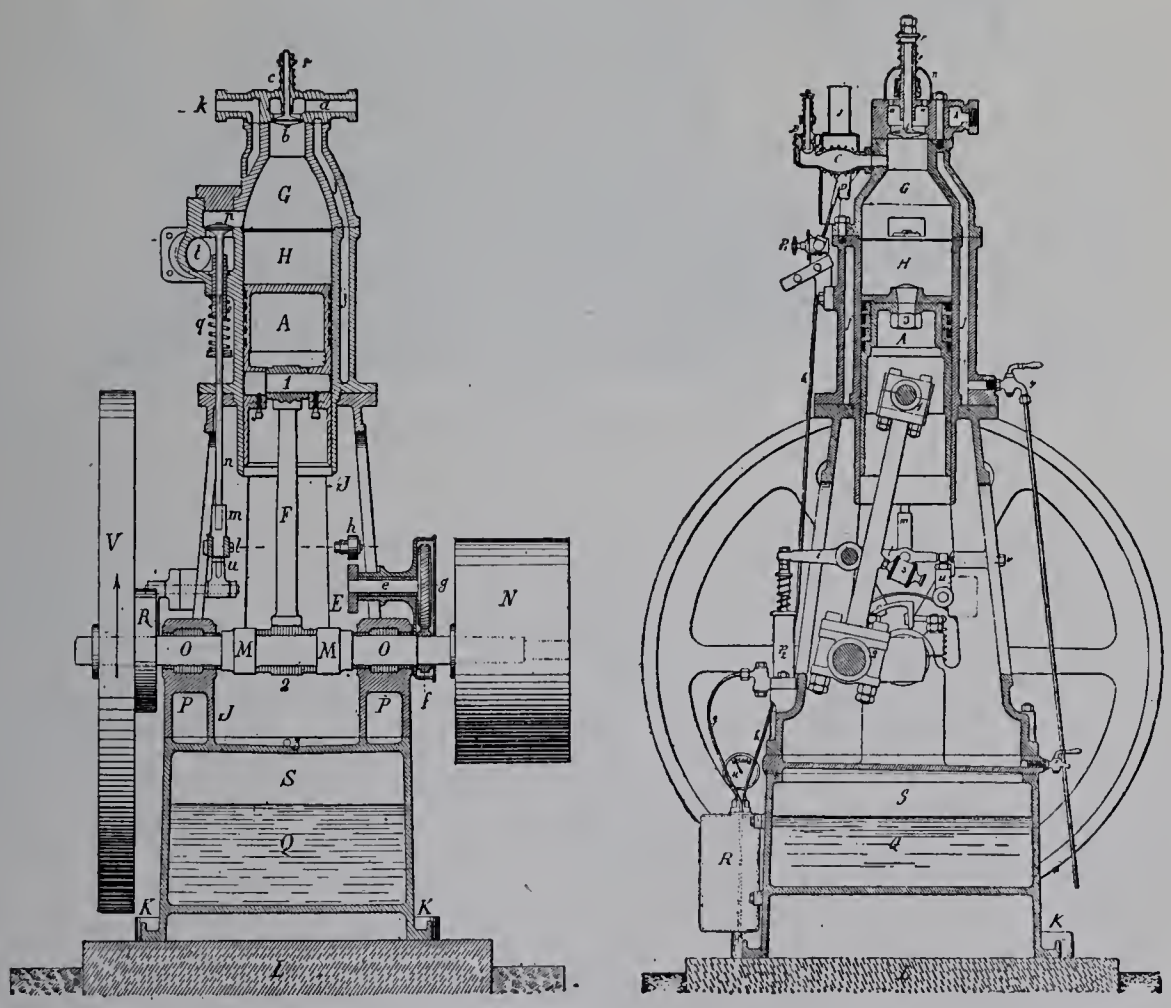


Fig. 119. — Coupe longitudinale.

Fig. 120. — Coupe transversale.

Tous ces moteurs sont à un cylindre, à simple effet, sans glissière, distribution par soupapes, refroidissement par eau.

Les moteurs verticaux sont du type pilon, ils sont à pétrole seulement (fig. 119 et 120). Les moteurs horizontaux sont du type à cylindre en porte à faux sur le bâti (fig. 121).

Dans les moteurs à pétrole, la soupape d'admission est automatique et la soupape d'échappement commandée, le vaporisateur fait fonction d'allumeur et le pétrole y est envoyé par une pompe au travers d'un petit clapet; le brûleur étant sous pression, l'air

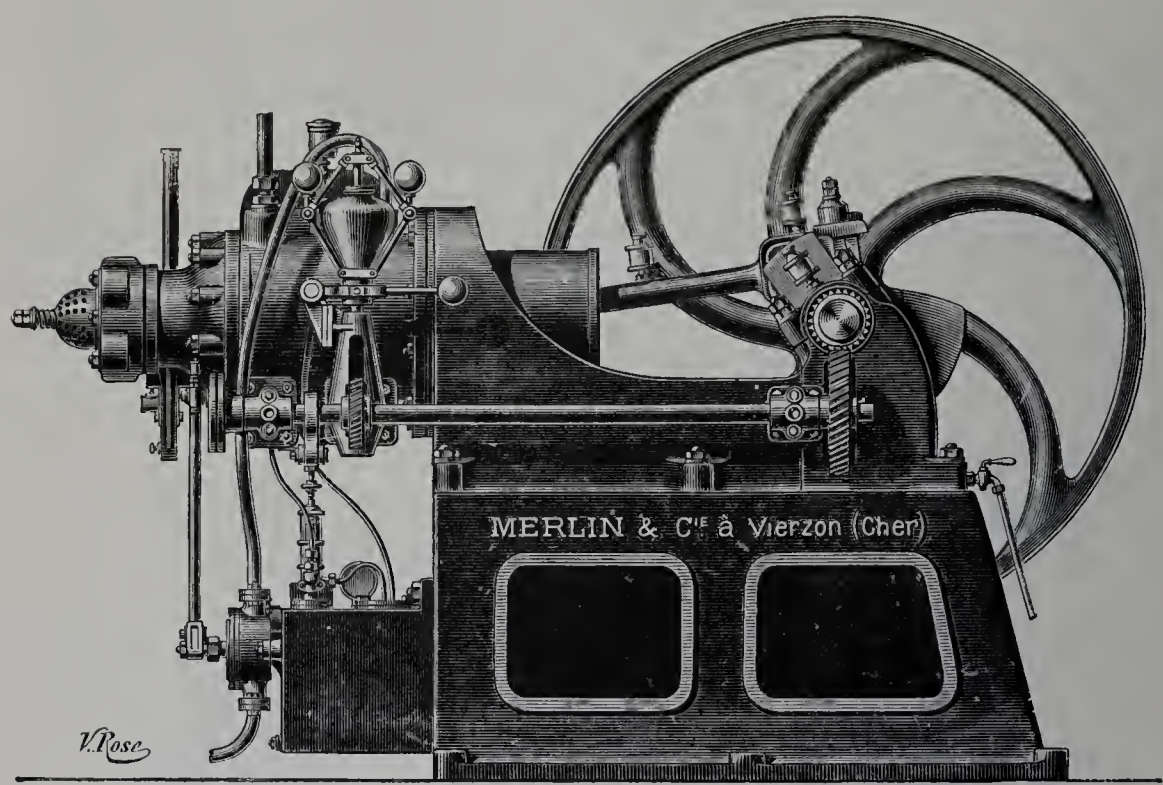


Fig. 121. — Moteur à pétrole Merlin.

est envoyé au réservoir par la pompe. Le régulateur du moteur vertical est à masse et la régulation se fait par tout ou rien en arrêtant la pompe et en maintenant la soupape d'échappement ouverte, alors que dans le moteur horizontal le régulateur est à boules et la régulation se fait par variation de la richesse de mélange, en modifiant la course de la pompe au moyen d'une came inclinée. Dans ces moteurs, une pompe assure la circulation de l'eau. Avec l'emploi du gaz, le vaporisateur est supprimé, l'allumage est électrique, le réglage par modification de soulevée de la soupape à gaz qui est commandée et sous la dépendance du régulateur.

Ravel (Joseph), à Paris.

M. Ravel est un des pionniers de la première heure. Pas d'exposition où il ne participe avec une machine nouvelle où se retrouve toujours un point intéressant.

Cette fois, M. Ravel présentait un moteur dit *Intensif* pouvant fonctionner au gaz et servir de moteur fixe, mais plus particulièrement destiné à la marche à l'essence et à la commande d'automobiles.

Le moteur présenté était vertical, du type pilon, à deux cylindres placés côte à

côte au-dessus d'un bâti formant carter et contenant les plateaux, manivelle volant, mettant les organes en mouvement à l'abri et opérant le graissage par barbotage.

Pas de glissière, distribution par soupapes, allumage électrique, refroidissement de la culasse par eau, deux arbres de distribution parallèles à l'arbre moteur, recevant leur mouvement de celui-ci par roues dentées droites et commandant par cames deux groupes de soupapes. Carburateur à refoulement d'air.

L'inventeur a pour but d'obtenir un moteur puissant sous un volume et un poids réduits. Il commence pour cela tout d'abord à appliquer les principes usités dans les moteurs d'automobiles : grande vitesse, cylindres multiples, etc.; puis il combine son appareil de façon à comprimer, toutes conditions égales d'ailleurs, derrière son piston moteur, un volume de mélange double de celui d'un moteur ordinaire.

Pour cela, il fixe ses bielles motrices à deux manetons placés dans une même position par rapport à l'arbre moteur, si bien que ses pistons se déplacent en même temps, mais suivent des cycles croisés. Puis il munit son carter d'une soupape automatique d'admission d'air et la relie aux soupapes d'admission du moteur par deux conduits dont l'un comporte le carburateur sur son parcours.

Ceci posé, supposons que l'un des deux pistons soit au point mort arrière au moment de l'explosion, il part en avant entraînant la machine. L'autre piston est à l'admission. À ce moment, il est relié avec le carter avant d'où les deux pistons refoulent l'air qui y était contenu. Cet air se carburant partiellement, un mélange explosif est ainsi transvasé et même comprimé dans le cylindre en charge pendant la course avant. Lors de la course arrière, l'échappement s'opère dans le premier cylindre, la compression dans le second, et derrière eux le carter s'est à nouveau rempli d'air.

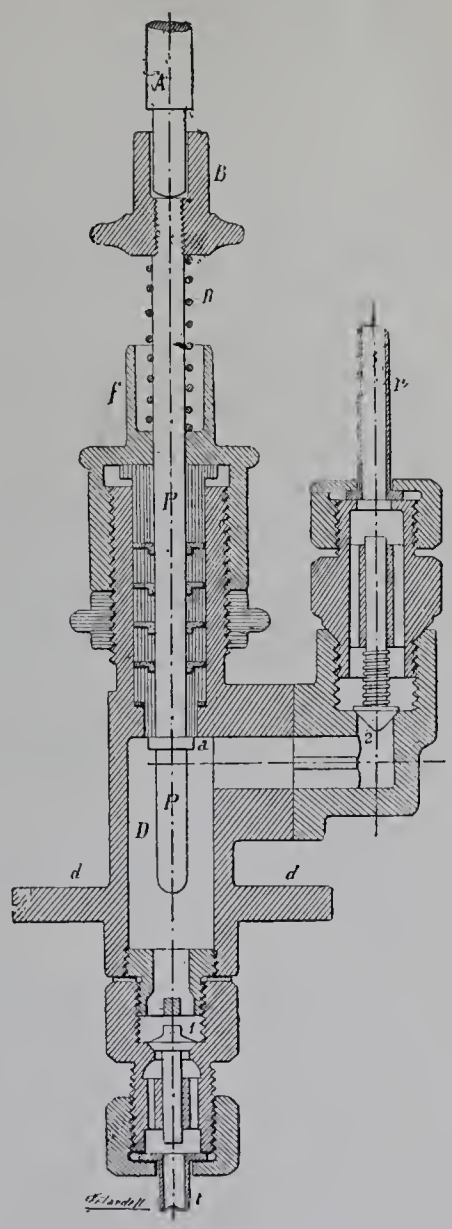


Fig. 122. — Moteur Ravel.

Puis l'admission se fait dans le premier cylindre, le travail dans le second et ainsi de suite. En somme, les deux cylindres suivent chacun un cycle à quatre temps chevauchés. Mais ce qu'il y a lieu de remarquer, c'est que les deux pistons marchant en même temps aspirent deux cylindrées dans le carter, puis refoulent ainsi deux cylindrées dans le seul cylindre à l'admission, alors qu'un moteur ordinaire n'en admettrait qu'une. C'est donc une charge double que nous ferons exploser, toutes conditions égales d'ailleurs, et nous aurons ainsi tout le contraire d'un moteur à détente prolongée : une consomma-

tion plus grande qu'un moteur ordinaire, mais, par contre, une pression moyenne plus élevée et partant une puissance supérieure.

C'est donc bien un moteur *intensif* qui est ainsi réalisé.

Rider-Ericsson Engine C°, à New-York.

La Compagnie Rider-Ericsson s'est fait une spécialité des machines à air chaud et a acquis, pour l'Amérique, les brevets Ericsson ainsi que les brevets Rider.

Ce moteur a un cylindre unique parcouru par deux pistons; l'un, le principal, le piston à air, reçoit et transmet la force; l'autre, dit piston de transfert, a pour fonction de faire passer l'air contenu dans la machine alternativement d'une extrémité du cylindre à l'autre.

Le cylindre est muni, à sa partie supérieure, d'une boîte à eau qui est traversée par toute l'eau pompée; la partie supérieure du cylindre est ainsi maintenue froide, tandis que la partie inférieure est exposée au feu.

L'air contenu dans la machine est d'abord comprimé à la main, à l'aide du volant, dans la partie froide du cylindre, et passe de là à la partie inférieure du cylindre où il est constamment chauffé et dilaté et fournit ainsi par sa détente la force nécessaire. Cet air passe à nouveau à la partie supérieure où il est refroidi et comprimé et de là revient à la partie inférieure.

Ces pompes, très simples et faciles à conduire, sont très employées en Amérique pour de petites élévations d'eau.

Ruston, Proctor and C° limited, à Lincoln (Angleterre).

La maison Ruston, Proctor, bien connue pour ses locomobiles à vapeur, construit aussi des moteurs à pétrole, dont elle exposait un spécimen au Champ-de-Mars.

Le pétrole est emmagasiné dans le socle du moteur. De ce réservoir, l'huile est élevée par une pompe dans un réservoir supérieur placé au-dessus du moteur. Un tube de trop-plein maintient le niveau constant.

De ce dernier réservoir, le pétrole, mesuré par un appareil spécial, descend par un tuyau au vaporisateur composé de tubes en spirale en communication avec la culasse et maintenus à une température élevée par la chaleur produite par la combustion.

Le pétrole amené dans le vaporisateur sans pression est vaporisé et pulvérisé par une injection d'air.

Un tube chauffé par une lampe pour la mise en marche est maintenu ensuite au rouge par la chaleur de la chambre de combustion avec laquelle il communique.

La lampe est soufflée par un ventilateur pour chauffer le vaporisateur à la mise en route.

Le moteur est à quatre temps, la régularisation se fait par tout ou rien.

Société anonyme des ateliers de Bruxelles.

Cette société s'est spécialisée dans la construction des moteurs à pétrole. Elle expose au Champ-de-Mars un moteur vertical *Excelsior,* qui n'est pas installé pour fonctionner.

Ce moteur est à quatre temps.

Le pétrole est amené dans le vaporisateur où il est gazéifié par la soupape d'injection qu'ouvre le moteur à sa course d'aspiration; la soupape d'entrée d'air s'ouvre en même temps et permet le mélange détonant.

La distribution de ce moteur est faite par un mouvement d'excentriques. L'appareil se compose d'un arbre coudé sur lequel est calé un excentrique portant deux rainures croisées. Sur cet excentrique est maintenu un collier tenant un curseur coulissant horizontalement dans deux plaques en acier. Celui-ci est muni de deux pointes affûtées afin de pouvoir passer librement dans le croisement de l'excentrique.

Au premier tour, la soupape d'échappement devant rester fermée, le curseur qui soulève la soupape reste dans la première rainure et permet ainsi, malgré la course de l'excentrique, de laisser la soupape fermée.

Au second tour, le curseur, guidé par les flancs de la rainure, passe le croisement et oblige l'excentrique à venir se placer sous la tige de la soupape qui sera relevée par l'excentricité.

Pour la mise en marche, il est de toute nécessité que le cylindre soit libre, c'est-à-dire qu'aucune explosion ne puisse avoir lieu de façon à n'obtenir aucune compression pour la facilité de la mise en train.

À cet effet, la tige de la soupape d'échappement porte une cale mobile retenue par un ressort; celui-ci vient peser sur le levier guidant le collier de l'excentrique, ce qui permet à chaque course un léger passage à la soupape d'échappement.

Société anonyme de la Maison Beer, à Jemeppe-lez-Liège (Belgique).

La maison Beer a commencé, il y a quelques années, la construction des moteurs à gaz et a acquis à cet effet une licence pour la Belgique des brevets Cockerill et Delamarre-Debouteville.

Le moteur exposé est donc le moteur *Simplex;* il est basé sur les mêmes principes que celui exposé par la Société Cockerill, qui a été déjà décrit.

Société Bromley frères, à Moscou.

Cette importante société de constructions mécaniques possède un des rares ateliers construisant le moteur en Russie. Ce moteur fonctionne au pétrole lampant. Il est du type pilon, vertical, à un cylindre à simple effet, sans glissière, monté sur un bâti

clos. La distribution est faite par soupapes et l'allumage automatique par tube. Le régulateur est à boules, la régulation se fait par tout ou rien et le refroidissement par circulation d'eau.

La soupape d'admission d'air est automatique; quant à celle d'échappement, elle est commandée par une came calée sur un arbre intermédiaire parallèle à l'arbre moteur, commandé par lui à l'aide de deux roues dentées droites.

Cette came actionne également la pompe d'injection de pétrole au vaporisateur, constitué par une sphère séparée en deux par une membrane; sphère non refroidie et se maintenant assez chaude pour assurer l'allumage une fois chauffé pour le départ.

Le régulateur placé horizontalement à la partie supérieure, actionné par courroie, opère le tout ou rien en maintenant la soupape d'échappement ouverte et en arrêtant la pompe d'injection. Cette dernière est à course variable, de façon à faciliter le réglage.

M. Taylor et Cie, rue Grange-Batelière, 16, Paris.

Le gazogène Taylor est le premier gazogène à aspiration directe qui ait été mis sur le marché et ait été pratiquement appliqué dès fin 1899.

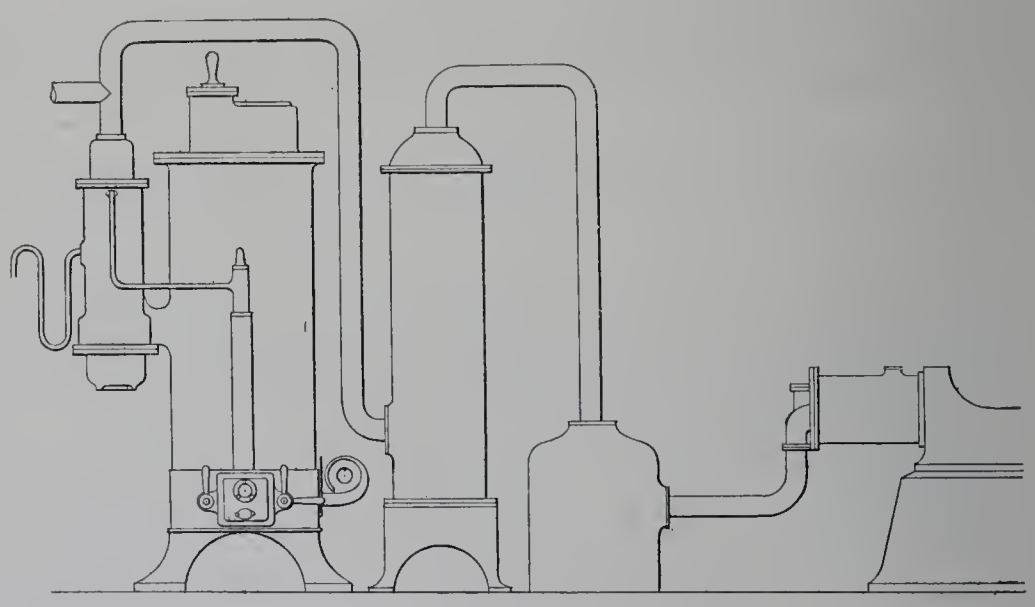


Fig. 123. — Gazogène Taylor (élévation).

L'on sait que, si l'on fait traverser, par un courant d'air, une masse épaisse de charbon incandescent, il se produira de l'acide carbonique qui, au contact des couches supérieures, se décomposera en oxyde de carbone. Et finalement on aura un gaz dit *à l'air*, peu riche, comprenant en principe oxyde de carbone et azote.

Si l'on ajoute à l'air une certaine quantité de vapeur d'eau, celle-ci se décomposera et formera une nouvelle quantité d'oxyde de carbone auquel s'adjoindra l'hydrogène correspondant, améliorant le gaz.

Dowson, un des premiers, a réalisé un appareil de ce genre dans lequel l'air et la

vapeur sont refoulés au travers du gazogène, puis du laveur, sous forme de gaz pour enfin arriver à un gazomètre. Les résultats ainsi obtenus furent très satisfaisants, mais l'installation ne convient guère que pour les assez gros moteurs. Elle est compliquée, coûteuse, nécessite un espace ouvert, offre danger d'asphyxie.

Dans le gazogène par aspiration de Taylor, le gazomètre est supprimé ainsi que tous appareils de refoulement. C'est le moteur lui-même qui, mis en communication directe avec un pot à gaz, lequel est relié au gazogène par le laveur, aspire l'air chargé de vapeur d'eau à chaque admission et forme ainsi le gaz dont il a besoin, juste au moment où il en a besoin. Ainsi, pas de gazomètre, pas d'accumulation de gaz; plus de complication, ni de dépense d'installation; établissement possible en tous lieux et pour de très petites machines de 4 chevaux. Tout cela avec une économie semblable à celle constatée avec les gazogènes à refoulement, c'est-à-dire pour 50 chevaux, par exemple, le cheval-heure effectif avec environ 450 grammes d'anthracite par cheval-heure effectif.

Car ce gazogène, comme les autres du reste, ne comporte l'emploi satisfaisant que d'un combustible maigre.

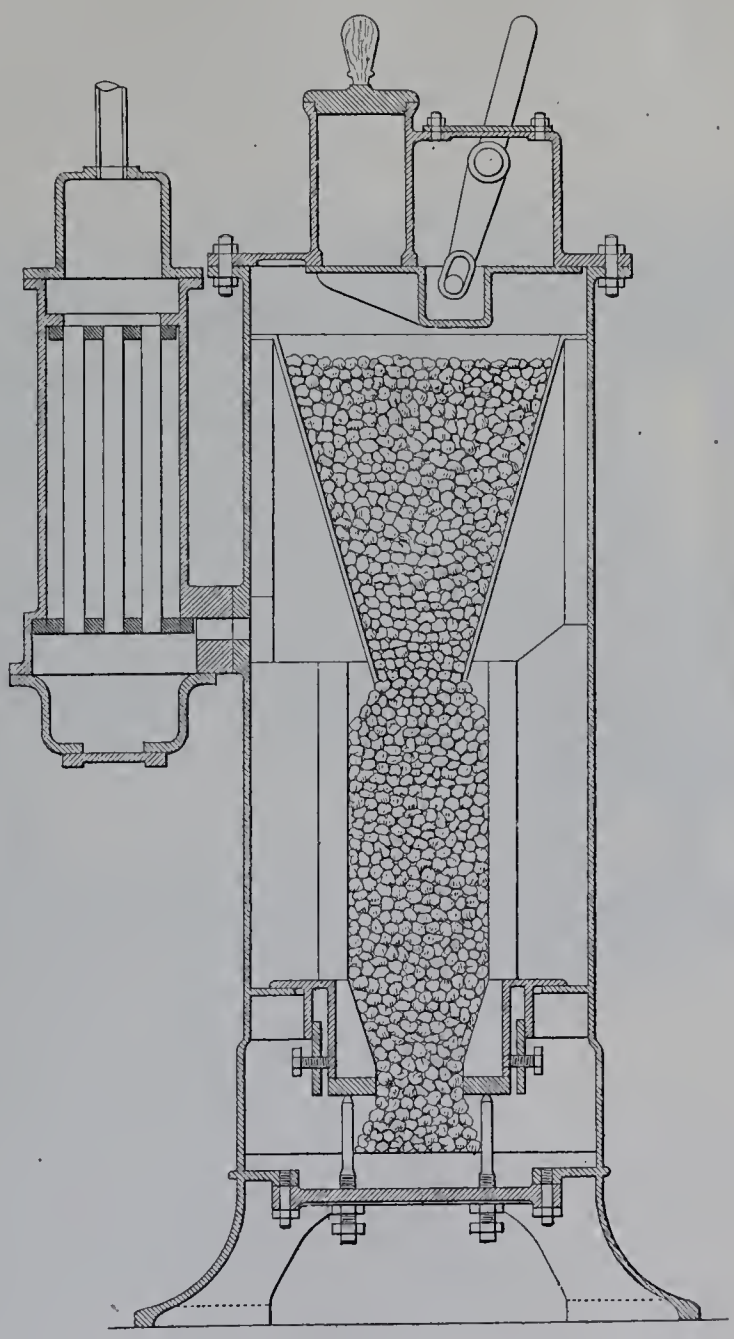


Fig. 124. — Gazogène Taylor (coupe transversale).

Le gazogène Taylor proprement dit n'offre rien de bien particulier et comporte tous dispositifs communs à ces appareils. Fermé de toutes parts, il communique d'un côté avec l'extérieur au moyen d'une canalisation qui passe à la surface d'eau à niveau constant, émettant de la vapeur et chauffée dans un véritable petit générateur par les gaz sortant du gazogène, se rendant au laveur, puis au moteur. Cet air se charge donc de vapeur d'eau avant de traverser la couche incandescente. Un ventilateur à main sert à

la mise en marche, une ouverture communiquant avec une chemise sert à mettre en veilleuse. L'entretien est celui d'un vulgaire poêle à combustion continue.

Wintenberger et fils, fondeurs-constructeurs, à Frévent (Pas-de-Calais).

Exposent, à Vincennes, un moteur vertical à pétrole ordinaire de 4 chevaux pour locomobile accouplé à une batterie.

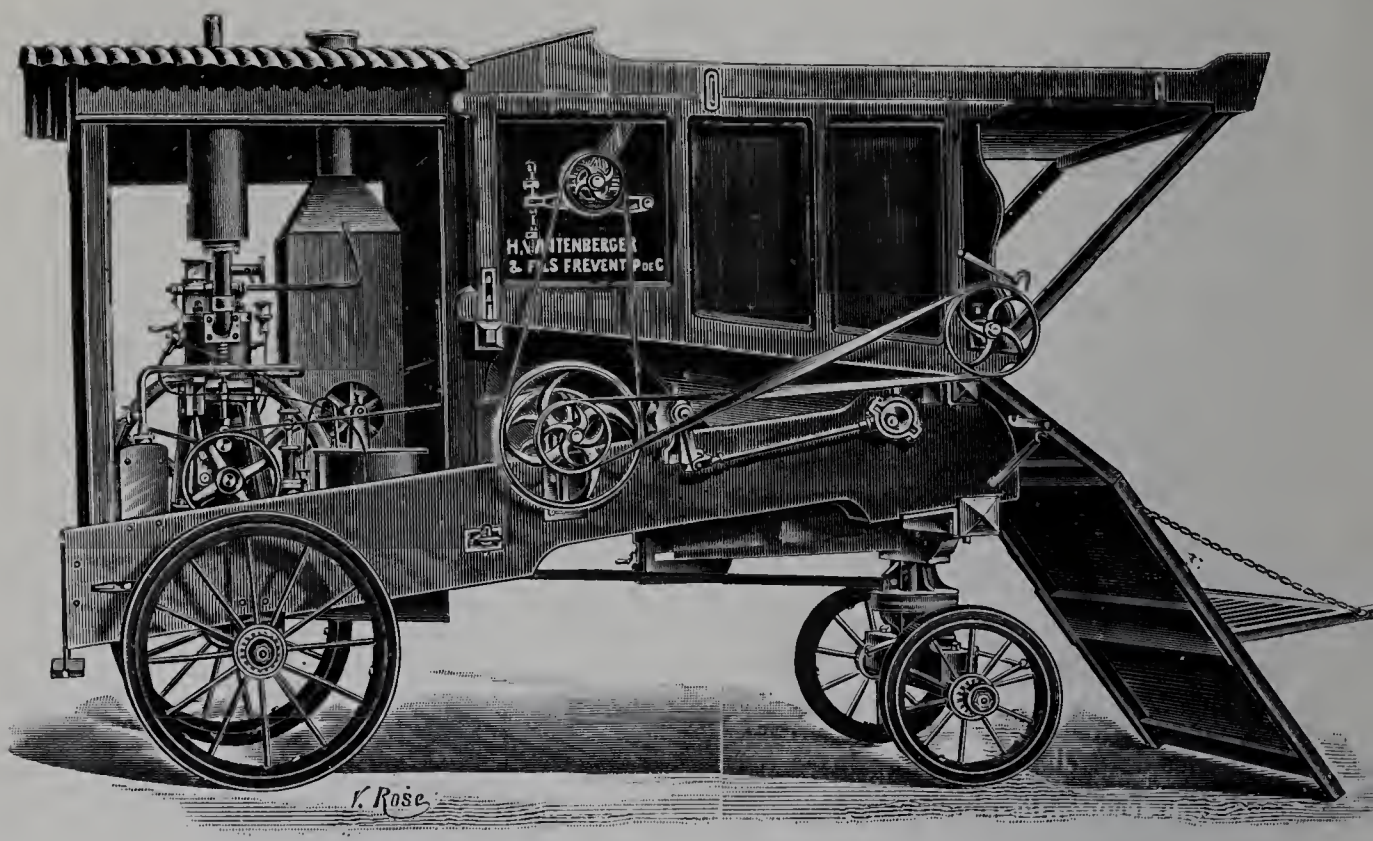


Fig. 125. — Moteur Wintenberger monté sur une batteuse.

Une pompe mue par le moteur, pouvant être actionnée à main pour la mise en marche, comprime de l'air dans le réservoir à pétrole.

Ce même réservoir alimente la lampe du vaporisateur.

Le pétrole, refoulé par la pression de l'air et aspiré par le moteur, traverse d'abord le vaporisateur-pulvérisateur à ailettes où il se vaporise et se mélange avec de l'air; il arrive ensuite au cylindre.

La lampe de mise en marche à bec souffleur est placée sous le vaporisateur. Au début, on chauffe au rouge le tube de cette lampe avec une lampe à alcool pour vaporiser le pétrole avant son arrivée au bec souffleur; c'est la flamme sortant de ce bec qui chauffe le vaporisateur et vaporise le pétrole d'alimentation du moteur.

Un régulateur automatique à tiroir, assez compliqué, règle par le régulateur de la machine l'admission du pétrole au moteur.

Les soupapes d'admission de pétrole, d'admission d'eau, d'air et de décharge, sont commandées par cames.

Le moteur fonctionne d'après le cycle à quatre temps.

Le cylindre, à circulation d'eau, est de plus refroidi par un ventilateur, ce qui a l'avantage appréciable de réduire la consommation d'eau, parfois assez rare dans les fermes.

MÉDAILLES DE BRONZE.

M. O. Berlin, constructeur à Alfortville.

M. O. Berlin expose à Vincennes un petit moteur d'atelier *Le Milon*.

Le pétrole arrive d'un réservoir en charge à une soupape d'admission où il est pulvérisé; il est ensuite vaporisé dans un vaporisateur chauffé par une lampe à essence.

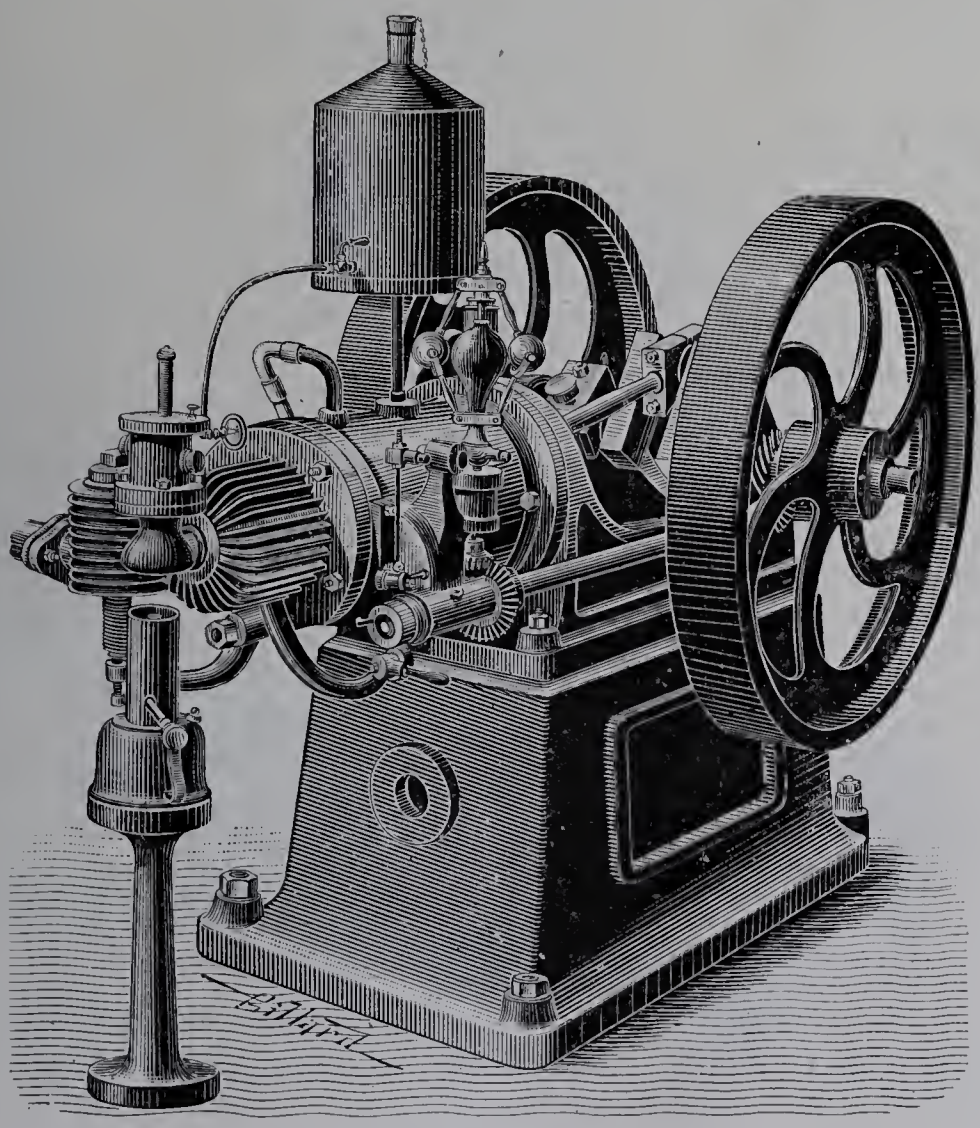


Fig. 126. — Moteur à pétrole Berlin.

Le moteur est à quatre temps, l'inflammation se fait par tube, le réglage par suppression de l'échappement.

Pour mettre en marche, on chauffe huit à dix minutes le vaporisateur, on ouvre le

IMPRIMERIE NATIONALE.

robinet d'arrivée du moteur et, après avoir fait fonctionner quatre à cinq fois la soupape d'admission, on tourne au volant.

Le moteur est simple, sans organe délicat, il est robuste et convient pour les petits ateliers.

E. Clarenc fils, à Paris.

Les appareils électriques exposés par M. Clarenc relèvent de la Classe 20, parce qu'ils sont destinés à être utilisés pour l'allumage des moteurs.

Ces appareils sont un distributeur de courant primaire et secondaire qui permet de n'employer qu'une bobine simple quel que soit le nombre de cylindres du moteur, un accumulateur *Julien* pour moteur d'automobile et une pile *Delaurier*.

MM. Cundall and sons, constructeurs, à Shepley (Angleterre).

Cette maison exposait un moteur à pétrole de 4 chevaux de force.

Le moteur à quatre temps est muni de trois soupapes, une automatique, deux commandées, dont une pour l'admission du pétrole préalablement vaporisé; cette dernière est sous l'action du régulateur à boules.

Le brûleur est alimenté par le pétrole d'un réservoir spécial.

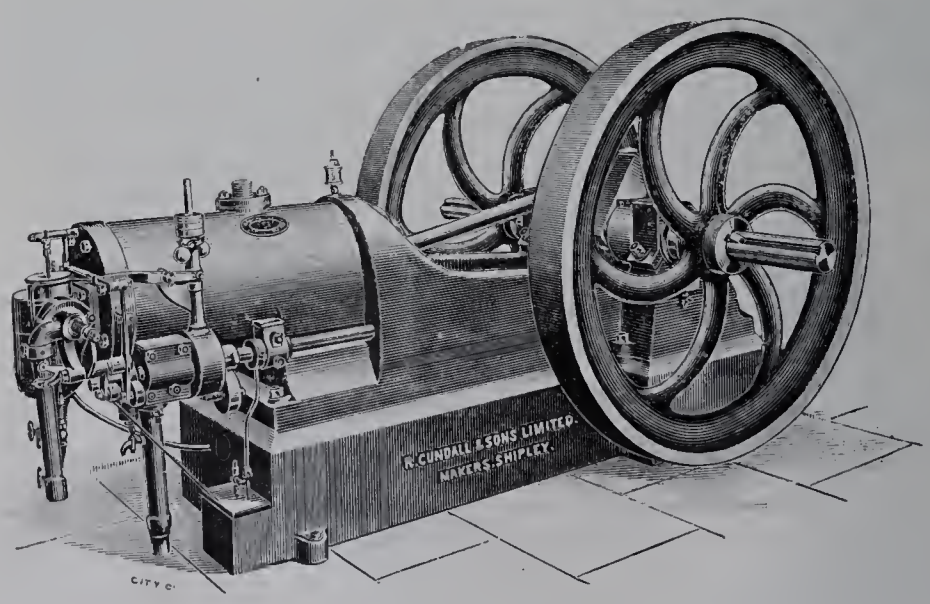


Fig. 127. — Moteur à pétrole Cundall.

Des dispositions sont prises pour que le pétrole soit toujours injecté du socle qui sert de réservoir dans le vaporisateur en quantité calculée pour assurer une carburation parfaite et réduire la consommation au minimum.

M. Dolizy, constructeur mécanicien, à Paris.

M. Dolizy expose, sous la dénomination *Le Rationnel,* un moteur à gaz et un autre absolument semblable, mais disposé pour marcher au pétrole. Ces moteurs sont construits d'après le cycle à quatre temps et offrent comme particularité l'emploi d'une seule came pour l'admission et l'échappement. La distribution est à soupapes et l'allumage se fait par étincelle électrique.

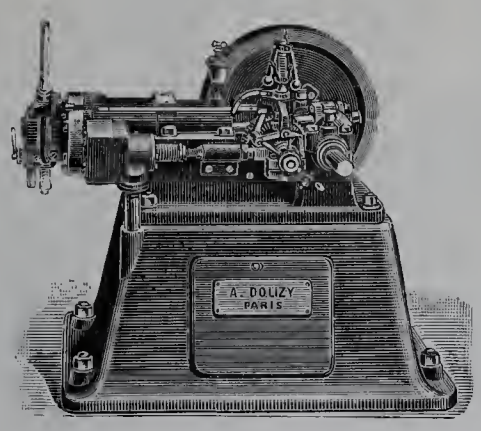


Fig. 128. — Moteur Dolizy.

Ces moteurs sont relativement légers, leur vitesse étant élevée : 500 tours pour le moteur à 1 cheval et 225 pour celui de 8 chevaux, représentant la machine la plus puissante de ce mécanicien.

Pour marcher à l'essence de pétrole, M. Dolizy ajoute à son moteur un carburateur de son système étudié pour être placé presque instantanément sur la tuyauterie (fig. 128).

MM. Alfred Dougill and C° limited, à Leeds (Angleterre).

L'exposition de MM. Dougill and C° est assez importante; elle comprend 5 moteurs, dont 3 à gaz et 2 à pétrole.

Ces moteurs à quatretemps ont été étudiés pour marcher indifféremment au gaz, à l'essence ou à l'huile de pétrole par simple substitution au robinet du gaz, soit d'un carburateur, soit d'un vaporisateur.

Ces constructeurs font valoir la simplicité de leurs moteurs, la position des roues d'engrenages situées entre les deux coussinets, ce qui permet de placer les volants contre les paliers et de réduire leur porte à faux.

Le régulateur à inertie agit directement sur la soupape d'admission.

Lorsqu'on marche au pétrole, on adapte au moteur un vaporisateur chauffé par une lampe à pression; après quelques instants de marche, l'allumage est produit intérieurement par la chaleur de combustion.

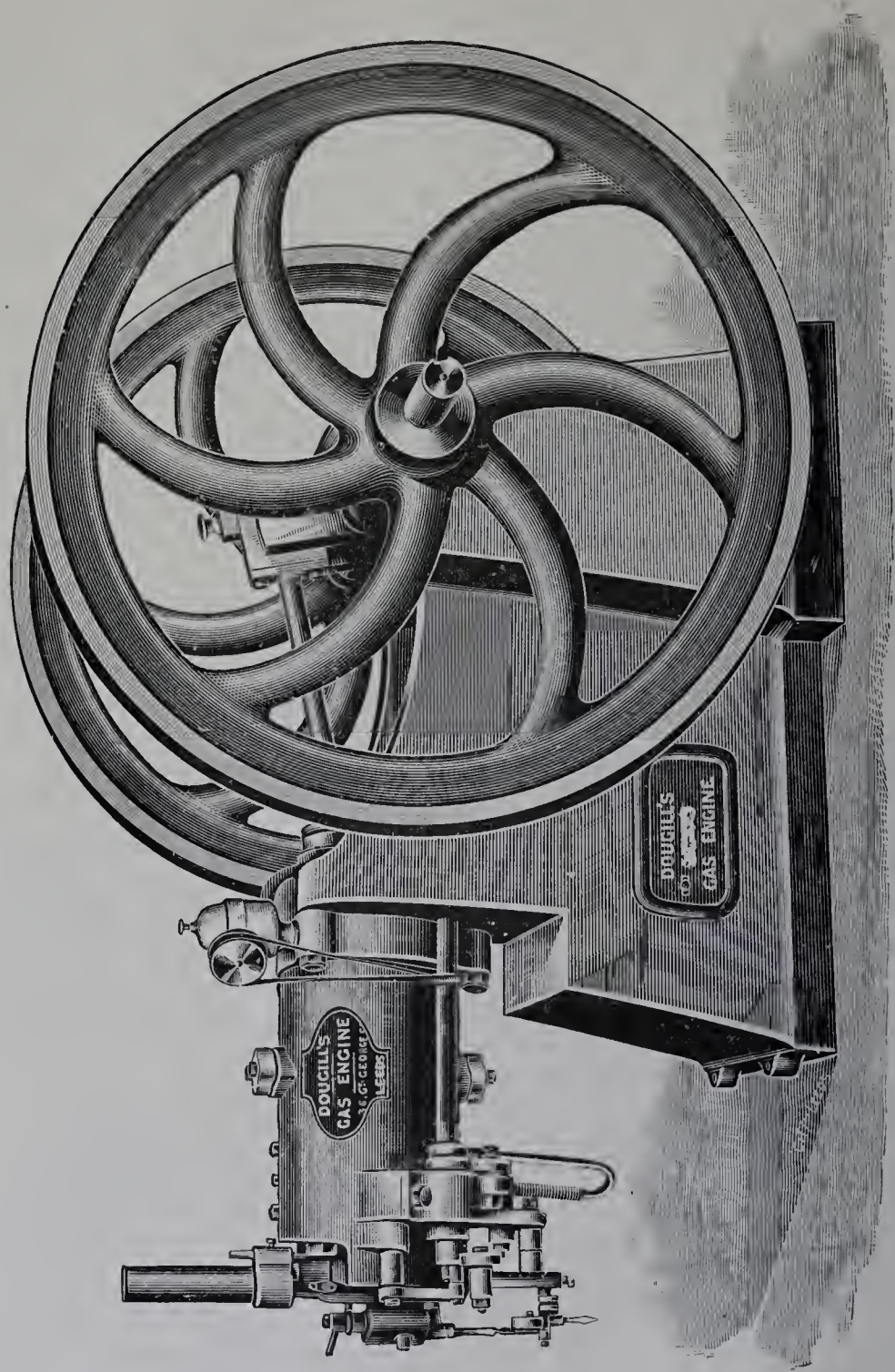


Fig. 129. — Moteur à gaz Dougill.

M. Léon Goutallier, constructeur mécanicien à Vincennes.

Ce constructeur mécanicien expose à Vincennes deux moteurs à essence de pétrole, étudiés pour automobiles et canots, l'un de 2 chevaux à un cylindre, l'autre de 4 chevaux à 2 cylindres.

Ces moteurs, très simples, marchent à 750 tours; l'allumage se fait par l'électricité; la soupape d'échappement, commandée par une came, sert au réglage.

La culasse à ailettes est refroidie par un courant d'air produit par un ventilateur.

L'eau de circulation, contrôlée par un indicateur placé au-dessus du moteur, est fournie par une pompe centrifuge assez simple et peu encombrante.

Nous signalerons plus particulièrement le carburateur dont nous donnons un croquis (fig. 130).

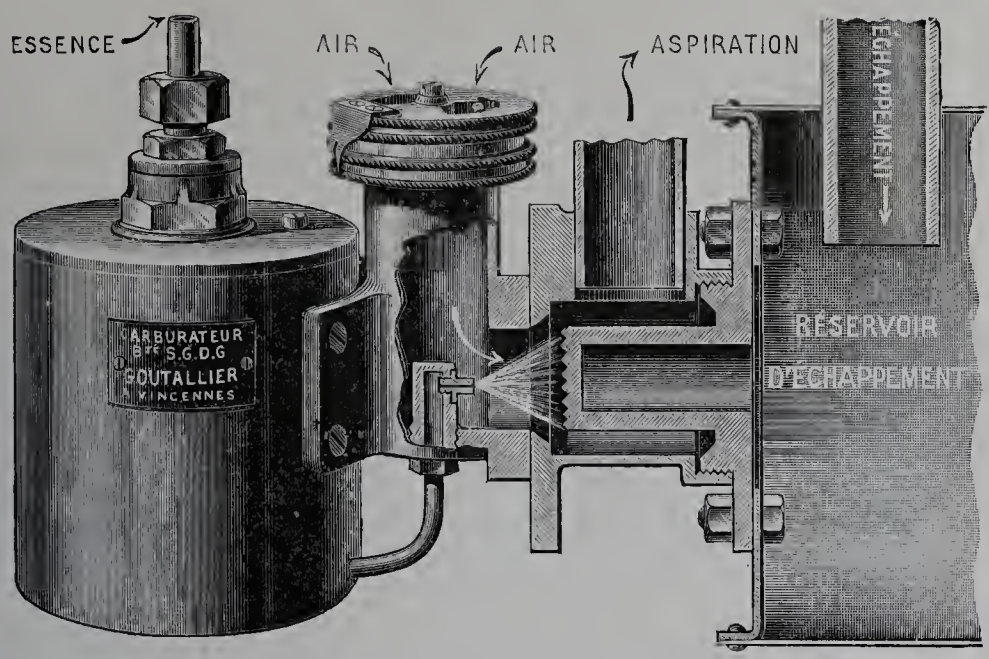


Fig. 130. — Carburateur Goutallier.

Ce carburateur se compose d'un réservoir à niveau constant alimenté par le réservoir à pétrole. L'essence est appelée par l'aspiration du piston et projetée par un ajutage capillaire sur une grille métallique chauffée par la décharge. Des toiles métalliques placées dans les conduites assurent le brassage et le mélange parfait du gaz et de l'air.

Machezinski, constructeur, à Varsovie.

M. Machezinski a été le premier à introduire en Pologne la fabrication des moteurs à gaz et à pétrole. Dans un petit atelier mû par deux moteurs, un de 8 chevaux, l'autre de 12 chevaux, il occupe près de quatre-vingts ouvriers et fait de cinquante à soixante moteurs par an.

Le moteur à pétrole construit par lui n'offre rien de particulier; il est à quatre temps et est muni d'un carburateur à niveau constant; le régulateur centrifuge agit sur la came d'admission.

M. Mora, constructeur mécanicien, à Paris.

M. Mora expose à Vincennes deux moteurs *Le Globe :*

1° Un moteur vertical à essence pour automobiles;

2° Un moteur horizontal à essence.

Ces moteurs peuvent aussi fonctionner au gaz.

Le moteur vertical est très simplifié, tous les organes sont enfermés dans un carter en aluminium, le cylindre est muni d'ailettes pour le refroidissement, la vitesse est de 1,200 à 1,300 tours. Pas de régulateur.

Le moteur horizontal est du type dit d'atelier et fonctionne comme le précédent, d'après le cycle à quatre temps.

Il peut marcher au gaz ou à l'essence de pétrole par adjonction d'un carburateur qui se place au bout du cylindre.

Il est muni de trois soupapes, le régulateur est à inertie, l'inflammation se fait par l'électricité.

Neuberger et Cie, à Paris.

Ce moteur, système Froment, est du genre de celui de Loyal, décrit précédemment, dont il ne diffère que par des détails de construction.

Rappelons-en le principe en le décrivant rapidement.

Il est à un seul cylindre muni de deux soupapes : celle d'admission placée sur la culasse est automatique; l'autre, celle d'échappement, est commandée par une came et communique par un conduit avec des ouvertures pratiquées sur le milieu du cylindre.

Voyons la série des opérations. Prenons le moteur en plein fonctionnement :

Lorsque le piston s'éloigne de la culasse, dans sa marche avant, l'explosion se produit, le piston est chassé et les gaz se détendent.

À mi-course le piston découvre les ouvertures annulaires pratiquées sur le cylindre et qui communiquent avec la soupape d'échappement à ce moment, pendant un temps très court, mais suffisant pour que la pression intérieure devienne égale à la pression atmosphérique.

Le piston continue sa marche; il se produit un vide à l'arrière et aussitôt la soupape d'admission, qui est automatique, s'ouvre en laissant pénétrer le mélange dans le cylindre, derrière les gaz brûlés non évacués, et ce jusqu'à la fin de la course.

Le piston revient vers la culasse, va en arrière, la soupape d'admission se ferme, celle d'échappement s'ouvre, les gaz brûlés qui sont restés derrière et contre le piston sont expulsés jusqu'au moment où le piston couvre les orifices.

Le niveau des orifices étant dépassé, le mélange frais qui a été aspiré est comprimé jusqu'à fin de course; les opérations recommencent.

La série des opérations peut donc se résumer ainsi, pendant la marche en avant : explosion, détente, évacuation partielle, aspiration, compression. Pendant la marche arrière : expulsion et compression.

Nous retrouvons les quatre opérations : aspiration, compression, explosion, échappement, mais non dans l'ordre habituel; de plus, ces quatre opérations se font en deux temps et non en quatre.

Il est à remarquer que ce système de moteurs est basé sur la stratification des

couches; on suppose que le mélange frais, aspiré avant expulsion complète des gaz brûlés, ne vient pas se mélanger avec ces derniers.

Le cylindre est refroidi par circulation d'eau; la culasse à ailettes n'est refroidie que par l'air ambiant, elle chauffe et sa chaleur est telle qu'à fin de compression l'allumage se produit; pour la mise en marche on emploie l'allumage électrique.

Le régulateur agit par une came oblique sur la soupape d'échappement; si la vitesse augmente, la soupape d'échappement s'ouvre en retard, il y a donc moins de mélange tonnant aspiré, et, comme conséquence, dans la course arrière le mélange est moins comprimé, la détente ensuite de ce mélange est moindre.

Société anonyme de l'Antipédale, à Paris.

L'Antipédale exposé par cette société consiste en un ressort à spirale comprimé par une pédale sur laquelle est l'ouvrier.

Ce ressort emmagasine ainsi une force qu'il rend par l'intermédiaire de leviers et d'engrenages à l'arbre destiné à transmettre le mouvement.

Cet appareil a été appliqué à des machines à coudre et à quelques petits outils, notamment à des tours de bijoutiers, etc.

Société des moteurs thermiques Gardie.

Le gazogène Gardie était présenté à Vincennes avec un moteur Charron.

Ce gazogène est à haute pression, il nécessite donc un compresseur d'air, mais cet inconvénient est compensé par un débit plus grand et par la suppression des épurateurs, les goudrons et les produits ammoniacaux étant décomposés à la température correspondante aux pressions usuelles de 5 à 6 kilogrammes.

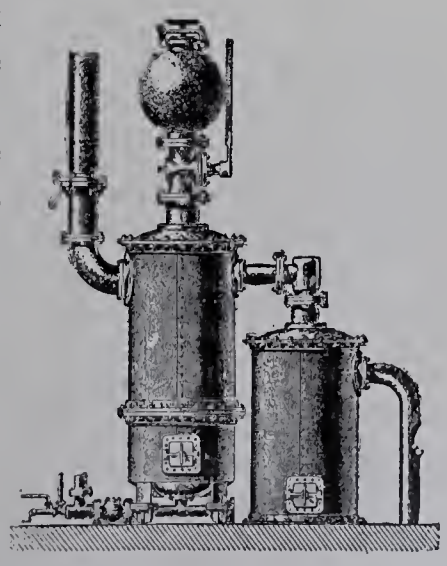


Fig. 131. — Gazogène Gardie.

L'appareil se compose d'une enveloppe cylindrique en tôle d'acier en deux parties réunies par des brides boulonnées pour résister à de hautes pressions. Le revêtement intérieur en terre réfractaire moulée forme une capacité cylindrique terminée par une partie ovoïde. La trémie de chargement est en fonte; elle est munie d'un couvercle à vis et fermée à sa partie inférieure par un gros robinet. La capacité de cette trémie correspond à deux heures de marche.

L'anthracite ou le chargement maigre est chargé dans la trémie, on ferme le couvercle; pour alimenter le gazogène on ouvre le robinet et le charbon tombe par un entonnoir renversé en tôle dans le foyer.

L'air comprimé, humecté par un pulvérisateur d'eau se réglant à la main, arrive par un ajutage dans la partie inférieure de la cuve, l'eau est vaporisée en route, l'air brûle le charbon à une très haute température en formant de l'acide carbonique qui est décomposé en oxyde de carbone par le charbon rouge au-dessus de la zone de combustion; les gaz circulent autour de l'entonnoir et réchauffent le charbon frais qu'il contient; ils sortent à une température d'environ 800° en traversant un nettoyeur *ad hoc* en spirale où ils abandonnent les poussières.

Ce générateur n'a pas de grilles; elles ne pourraient d'ailleurs guère résister à ces hautes températures; les escarbilles et le laitier sont retirés par une ouverture ménagée à cet effet; pour la mise en marche, l'appareil est muni d'une cheminée placée au-dessus du nettoyeur.

Werner frères, à Paris.

MM. Werner exposent un petit moteur à un cylindre de 1 ch. 1/2 de force tournant à 1,500 tours, étudié spécialement pour motocyclettes, par conséquent très léger. Son poids ne dépasse pas 10 kilogrammes.

Le carburateur qui l'alimente est à niveau constant et à pulvérisation.

Allumage électrique par accumulateur, bobine et bougie.

Le cylindre et la culasse sont munis d'ailettes pour le refroidissement par l'air.

Ce moteur n'offre aucune particularité remarquable si ce n'est sa légèreté.

MENTIONS HONORABLES.

Arnaud et Marot, à Paris.

Nous aurions désiré voir fonctionner le moteur rotatif exposé par MM. Arnaud et Marot, moteur qui, d'après le catalogue, doit marcher au pétrole, au gaz, à l'alcool ou à l'air comprimé. Mais, malgré nos instances, il n'a été mis en marche ni au Champ-de-Mars où il était exposé, ni à Vincennes où on devait le transporter.

On n'a pas pu nous donner aucune référence.

D'après la note qui nous a été remise par les inventeurs, ce système de moteurs peut être fait à un, deux, trois ou quatre cylindres.

Chaque cylindre a son axe excentré par rapport à l'axe de l'arbre moteur et perpendiculaire à celui-ci en direction. Il est muni d'un piston porteur d'un galet. Ce galet s'appuie constamment et roule sur une came centrale dont le profil est constitué par des courbes parallèles à certaines développantes de cercle. Cette came est fixée à un arbre autour duquel tourne tout le système. Chaque cylindre est muni d'une soupape unique pour l'admission et l'évacuation des gaz. Celles-ci se font par deux orifices amenant et prenant les gaz. Le graissage est automatique. Les quatre temps s'opèrent en une révolution.

Société anonyme des fontaines à gaz.

Cette maison expose un carburateur à liquide immobilisé, remplissant en même temps le rôle de réservoir.

A l'intérieur d'un récipient A est bourrée une substance légère et perméable B douée d'un grand pouvoir absorbant pour les liquides.

Bien que remplissant le récipient aussi parfaitement que possible, cette substance, qui est sous forme d'éléments prismatiques, est entassée de telle façon que l'air puisse circuler librement entre ses divers éléments.

De plus, les parois du récipient sont garnies d'une toile métallique ondulée C facilitant encore la circulation de l'air à travers l'ensemble.

Le récipient est traversé de haut en bas par un tube de métal D perforé de gros trous, relié à la partie inférieure à une pièce E, muni d'ouverture latérales et fermé à la partie inférieure.

Cet ensemble constitue le carburateur proprement dit.

L'air à carburer devant traverser l'appareil de haut en bas, en entrant par les ouvertures de la pièce E, le mélange est pris par un tube F, sorte de sonde puiseuse, qui l'amène à l'appareil d'utilisation.

Cette sonde F est formée d'un tube pouvant glisser dans une pièce G venant se visser sur celle E fixée au récipient.

Des ouvertures sont ménagées afin de permettre à l'air de pénétrer dans l'appareil.

Le tube F est ouvert à la partie supérieure et fermé à la partie inférieure, il présente au-dessus de cette partie des ouvertures latérales H pour le passage de l'air carburé.

Gouttes et Brunel, à Bordeaux.

Le moteur de MM. Gouttes et Brunel est rotatif et à détente multiple, il tourne à la vitesse de 3,000 tours et utilise la pression de gaz ou de vapeurs.

Il est composé de deux parties fixes solidaires et d'une partie mobile qui transmet le mouvement direct emprunté à la vapeur, à l'air comprimé, à un gaz explosible, etc.; il ne comporte ni piston, ni bielle, ni manivelle, ni tiroir, ni volant. C'est la notice qui parle.

Guenot (Louis), à Paris.

Le gazogène Guenot (fig. 132 et 133) est le seul produisant du gaz à l'eau qui ait été exposé. Il offre une certaine analogie avec le gazogène Riché, mais fonctionne au charbon de bois déjà formé, et non produit dans l'appareil.

Nous donnons la coupe de ce dernier avec sa description.

Ce gazogène se compose de deux cornues métalliques reliées par leur partie inférieure.

À la partie inférieure de la cornue se trouve une tubulure de nettoyage fermée par un bouchon; à la partie supérieure, une trémie de chargement fermée par un bouchon maintenu par un étrier mobile; cette trémie porte une tubulure pour l'évacuation des gaz produits.

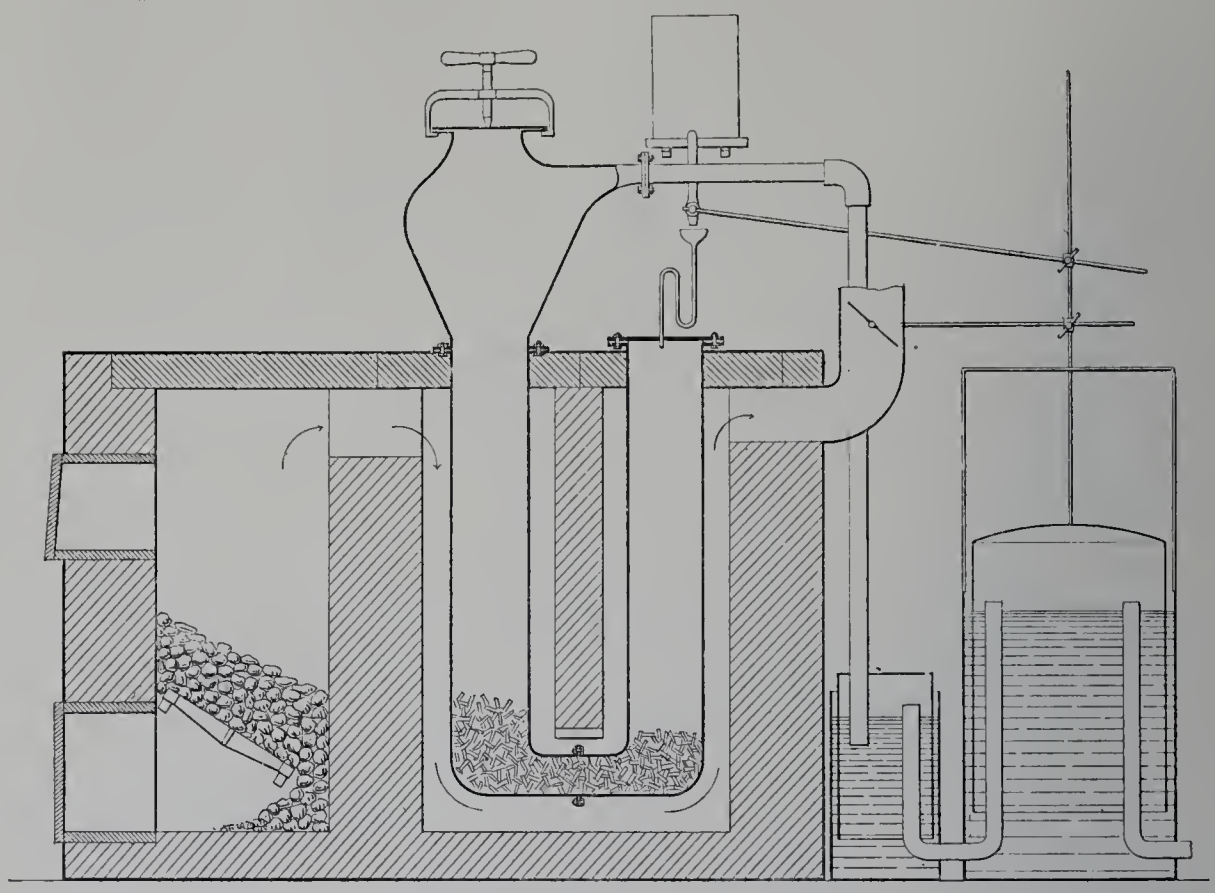


Fig. 132. — Gazogène L. Guénot (coupe longitudinale).

La cornue est fermée à sa partie inférieure par un bouchon maintenu par des boulons.

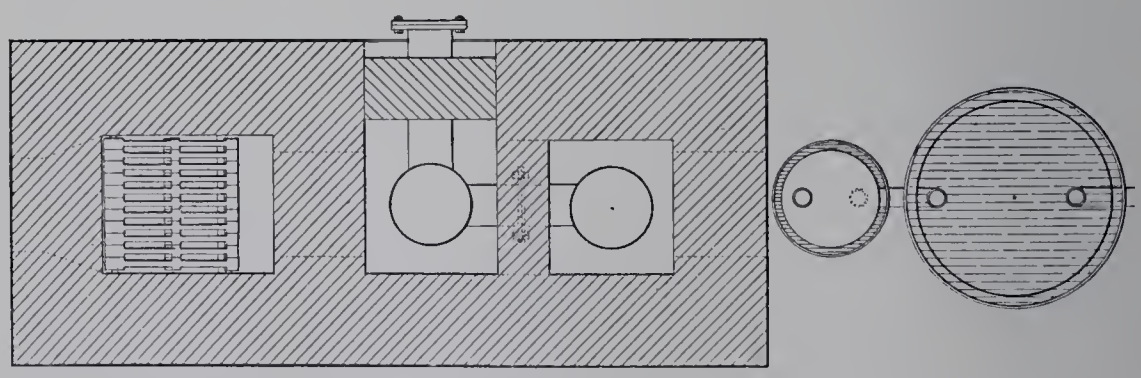


Fig. 133. — Gazogène L. Guénot (coupe plane).

Les deux cornues sont entourées de maçonneries réfractaires avec canaux de circulation autour des cornues pour les gaz de combustion, provenant d'un foyer, qui s'échappent par la cheminée, munie d'un papillon de réglage.

Un petit réservoir d'eau, avec robinet, est placé sur l'appareil et l'eau tombe dans la cornue par un tube à entonnoir.

Un barboteur et un petit gazomètre régulateur complètent l'ensemble.

La cloche du gazomètre porte une tige verticale, munie de deux curseurs, sur lesquels viennent s'appuyer deux autres tiges, conduisant respectivement le papillon, de la cheminée et le robinet du réservoir à eau.

Les cornues étant remplies de charbon de bois, ainsi que la trémie de chargement, on allume du feu sur la grille; les gaz de la combustion chauffent la première cornue de haut en bas, puis ils remontent autour de la seconde cornue et s'échappent par la cheminée.

L'eau contenue dans le réservoir coule lentement sur le charbon de bois de la seconde cornue et se vaporise; la vapeur passe ensuite sur le charbon de bois en ignition de la première cornue *a* et est décomposée; il se forme de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique. Ces gaz se rendent ensuite au barboteur et au gazomètre qui, au fur et à mesure qu'il se remplit, ferme le robinet d'eau et le papillon de la cheminée.

Lorsque le gazomètre est plein, l'eau ne coule plus et le tirage est arrêté; si la cloche du gazomètre baisse, la production du gaz recommence. Contrairement à ce qui se passe dans le gazogène Riché, le bois ayant été préalablement distillé, la proportion d'hydrogène augmente sensiblement, alors que l'acide carbonique augmente très peu, l'oxyde de carbone diminue notablement et les hydrocarbures disparaissent.

On peut en juger par la composition moyenne suivante, en volume, à comparer avec celle du gaz Riché :

Acide carbonique	25 p. 100
Oxyde de carbone	12
Hydrogène	63

Nous ne connaissons pas de cas d'application de ce gazogène aux moteurs, auxquels cependant il pourrait convenir.

Ingersoll-Sergeant, Dril Company, à New-York.

Le moteur Ingersoll-Sergeant devrait plutôt être décrit dans la classe des machines à vapeur, mais comme il fonctionne également à l'air comprimé, il relève aussi de la Classe 20.

Il est à trois cylindres placés à 120° fonctionnant alternativement. La distribution se fait par une soupape rotative qui laisse entrer l'air comprimé dans le cylindre qui va produire son effet utile, et en même temps sert de soupape d'échappement aux autres deux cylindres.

Ce moteur est principalement utilisé pour actionner des perforatrices.

M. Laviornery, mécanicien, à Paris.

M. Laviornery construit des moteurs depuis 1878. Son premier moteur était du type vertical et du genre Bisschop. Il expose aujourd'hui un moteur horizontal et un moteur vertical, ce dernier à quatre temps, n'offrant aucune particularité à signaler; la soupape d'aspiration est automatique, celle d'échappement est commandée par une came.

Lesiourd, constructeur mécanicien, à la Ferté-Bernard (Sarthe).

L'Incomparable, tel est le nom du moteur exposé par M. Lesiourd.

Ce moteur, dont deux spécimens figurent au Champ-de-Mars, fonctionne soit au gaz, soit à l'essence de pétrole par l'adjonction d'un carburateur. Il a beaucoup d'analogie avec les moteurs Gardner qui ne faisaient pas partie de la Classe 20 et fonctionnaient au Palais de l'Industrie collective du gaz.

L'arbre de commande est remplacé par deux tringles d'excentriques commandant l'une l'admission, l'autre l'échappement; l'arbre qui les porte est parallèle à l'arbre de couche, commandé par lui par engrenage et fait un tour pour deux de la machine.

L'excentrique d'admission attaque par une tringle longitudinale un levier à deux branches dont l'une ouvre la soupape de mélange et de prise d'air tous les deux tours, tandis que l'autre n'agit sur la soupape de gaz que sous la dépendance d'un régulateur d'inertie.

Lotz, fils de l'Aîné, constructeur mécanicien, à Nantes.

Cette maison fabrique le matériel d'agriculture, batteuses, locomobiles et accessoires.

Elle construit à l'occasion des moteurs à gaz; le seul type établi paraît être celui de 2 chevaux exposé.

Ce moteur est vertical, les soupapes de mélange et d'échappement sont commandées par les cames, le régulateur agit sur la soupape d'admission de gaz.

Michon, à Paris.

Le moteur Michon avait été étudié pour marcher à l'air comprimé, mais ne fonctionnait pas à l'Exposition.

D'après la note de l'inventeur, ce moteur comprend, comme partie essentielle, un manchon ou tuyau déformable qui tapisse circulairement la face interne d'un grand cylindre fixe C, en combinaison avec une poulie folle ou tambour; ce dernier est monté fou sur une partie excentrée d'un arbre concentrique au cylindre et cela de façon à pouvoir rouler sur le tuyau déformable en le maintenant obturé.

Si l'on admet un fluide sous pression dans le manchon en arrière du tambour, ce fluide tend à gonfler le manchon qui se presse ainsi sur la partie arrière du tambour et oblige celui-ci à tourner et faire tourner l'arbre moteur.

Il nous a été impossible de nous rendre compte des mérites de ce moteur qui n'existait qu'à l'état de modèle.

Mokhoff, à Moscou.

Cette exposition ne comprend que des ressorts de toutes dimensions pour moteurs à gaz et à pétrole. Ils paraissent bien fabriqués et avec un métal approprié.

Roussat, constructeur mécanicien, à Paris.

M. Roussat expose un petit moteur pour automobiles dont nous ne donnerions pas la description s'il ne différait par quelques détails des moteurs généralement employés.

Pour refroidir les cylindres et les soupapes, M. Roussat emploie un mélange d'eau et d'air. L'eau est aspirée et refroidie par une pompe commandée par le prolongement de la tige du piston, elle est pulvérisée et à ce moment mélangée avec de l'air; c'est ce mélange qui sert au refroidissement, d'abord de la soupape d'admission, puis des cylindres et enfin de la soupape d'échappement.

Étant données les chaleurs spécifiques de l'eau et de l'air, il est évident que pour le refroidissement d'un moteur le mélange d'air et d'eau pulvérisée n'est pas à recommander.

L'allumage est fait par un fil de platine entretenu au rouge par la chaleur dégagée par la combustion du pétrole; pour la mise en marche, on chauffe le platine avec une lampe.

M. Roussat, dans les explications qu'il nous a données, nous a fait valoir que si pour le refroidissement on emploie au lieu d'eau pulvérisée du pétrole, on obtiendra un gaz d'éclairage qui pourra être utilisé; nous ne pensons pas qu'il ait cherché à mettre cette idée en pratique.

M. Émile Schrabetz, à Vienne.

M. Émile Schrabetz expose un antifluctuateur de précision destiné à supprimer les vacillations des flammes des becs de gaz causées par le fonctionnement irrégulier des moteurs à gaz (fig. 134 et 135).

Dans cet appareil, le gaz est amené sous la cloche *a* qui flotte sur l'eau.

À l'entrée, le gaz passe par la soupape à papillon *g*, dont l'ouverture dépend de la position (en hauteur) de la cloche. Cette soupape règle l'accès du gaz, de sorte que la cloche se tienne toujours flottante, entre les positions extrêmes.

Par suite de la mobilité de la cloche, les aspirations rapides et intermittentes du moteur restent dans la réaction sur la pression du gaz dans la cloche et par cela aussi dans les conduits d'alimentation.

La transmission du mouvement de la cloche *a* à la soupape *g* est formée par le heurtoir *o*, de la tige *i* et la pièce *l*, en connexion avec jeu, avec le papillon.

La pièce *l* entoure le heurtoir *o* avec un jeu suffisant, pour ne pas actionner la

soupape à chaque oscillation, mais seulement si la marche du moteur varie son rythme ou si la pression du gaz dans le conduit est modifiée.

ANTIFLUCTUATEUR SCHRABETZ.

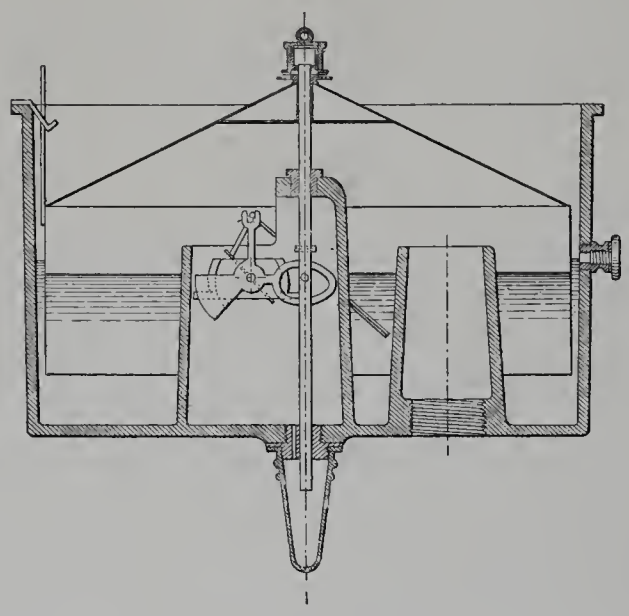


Fig. 134. — Coupe transversale.

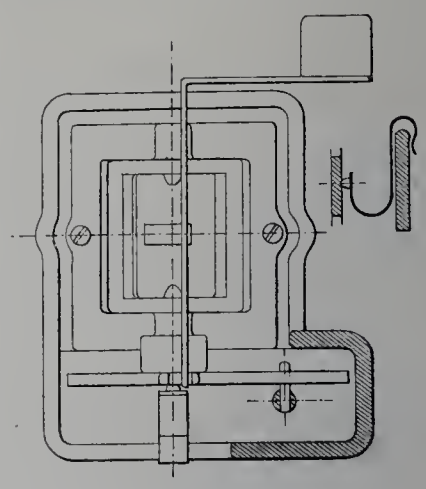


Fig. 135. — Vue en plan.

Le papillon porte un bras qui s'allonge d'une part à la palette *h*, immergée dans l'eau, d'autre part vers la gueule *m* de la pièce *l*.

Vu le surpoids de la palette *h*, le papillon *a* à tendance d'ouvrir la soupape, il est arrêté en s'adossant à la partie droite de la gueule *m*.

Si par les descentes saccadées de la cloche, la pièce *l* est poussée verticalement, le papillon n'est pas actionné directement, comme la gueule laisse suffisamment de jeu, mais le bras du papillon perd son soutien et ne suit que lentement sous le poids de la palette jusqu'à ce qu'il s'adosse de nouveau à la gueule.

Le mouvement du papillon est retardé par la résistance que la palette trouve dans l'eau, de sorte que le passage de la soupape est élargi lentement sans causer des secousses dans le conduit et sans influencer les becs à gaz.

Warmont, ingénieur, à Fourchambault.

M. Warmont expose une turbine à air chaud avec mélange de vapeur et l'appareil producteur de mélange.

Le générateur peut se subdiviser en :

1° Un brûleur;

2° Un bouilleur à vapeur tubulaire;

3° Un ajutage dans lequel s'opère le mélange d'air chaud et de vapeur.

Brûleur. — Le brûleur se compose de quatre pièces coniques en bronze, s'emmanchant les unes dans les autres et laissant entre elles des espaces annulaires où débouchent l'air et le pétrole prêts pour la combustion.

Il est enfermé dans un foyer hermétiquement clos et alimenté d'air comprimé à 1 kilogramme de pression.

Un tube de platine porté à l'incandescence assure la continuité de la combustion.

Un bouilleur alimenté automatiquement et chauffé par la flamme du brûleur produit la vapeur qui, mélangée avec l'air chaud, constitue le fluide qui doit alimenter la turbine.

Ce fluide arrive sur le côté des aubes, mais normalement, et les traverse diamétralement dans leur partie concave pour ressortir par un canal pratiqué dans la flasque opposée à l'arrivée.

Comme la vitesse de ce fluide est double de celle de la turbine, ce fluide rattrape l'aube précédente, exerce sa pression sur cette aube en suivant diamétralement son profil et ressort dans un nouveau canal d'échappement pratiqué dans l'épaisseur de la première flasque d'arrivée du fluide.

Cet appareil ne fonctionnait pas.

CONCLUSION.

Dans cette partie du rapport nous avons décrit les moteurs exposés.

De tous les moteurs à gaz et à pétrole que nous avons été ainsi amenés à décrire, trois seulement, et des moins importants, fonctionnent d'après les principes du cycle à deux temps, tous les autres sont à quatre temps.

Ainsi qu'on le voit, le succès qui avait accueilli ces derniers moteurs à l'Exposition de 1889 s'est de nouveau affirmé avec éclat à celle de 1900.

À l'heure actuelle, les moteurs à quatre temps, genre Otto, règnent incontestablement sur le marché des moteurs à gaz et à pétrole; mais faut-il en conclure que son triomphe sur le moteur à deux temps est définitif? Tel n'est pas notre sentiment.

Nous estimons, en effet, que le mérite de ce dernier moteur a été méconnu; si son rendement est inférieur à celui du moteur établi d'après le cycle de Beau de Rochas, il est susceptible d'amélioration. Son prix de revient, moins élevé que celui du moteur à quatre temps, le rend plus accessible à la petite industrie; enfin, il donne une régularité de marche que l'on ne pourrait demander sans inconvénient, nous dirons même sans danger, à son rival.

Cette régularité rend son emploi précieux pour les installations d'éclairage électrique et de transport de force, surtout si on l'alimente au gaz pauvre ou mieux au gaz de hauts fourneaux.

Pour toutes ces raisons, nous ne serions pas surpris que, dans un avenir prochain, les constructeurs ne reviennent à ce type de moteur et que le public ne lui accorde sa préférence. De même que nous ne serions pas étonnés de voir, dans une époque peu lointaine, le triomphe du moteur à gaz sur la machine à vapeur.

DEUXIÈME PARTIE.

MOTEURS HYDRAULIQUES.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

La deuxième partie du rapport de la Classe 20 comprend :

1° Les turbines hydrauliques avec leurs régulateurs de vitesse :

2° Les machines à colonne d'eau ;

3° Les moulins à vent ;

4° Divers moteurs rotatifs et les manèges.

C'est dans cet ordre que nous allons passer en revue les nombreux appareils que le Jury international a eu à examiner.

Les turbines hydrauliques et leurs régulateurs forment incontestablement la division la plus intéressante comme aussi la plus importante de la deuxième partie de ce rapport. Dans cette branche de l'industrie les progrès réalisés depuis 1889 sont considérables.

Les machines à colonne d'eau ne sont représentées que par deux appareils.

Les moulins à vent sont peu nombreux, mais les modèles exposés sont, en général, bien étudiés et bien construits.

Enfin, les moteurs rotatifs sont plutôt des machines d'étude que des appareils industriels, car ils ne sont pas encore entrés dans le domaine de la pratique ; les manèges ne présentent aucune particularité ou innovation digne de remarque.

La force motrice tient, dans la vie moderne, une place de plus en plus importante.

Qu'elle soit produite par la vapeur, les gaz, les fluides, la chaleur solaire, les combustibles liquides, les réactions chimiques, l'air ou l'eau, elle sert, aujourd'hui, non seulement à faire mouvoir nos innombrables usines, mais aussi à nous éclairer, à nous chauffer, à nous transporter ; elle fait partie de nos besoins domestiques les plus immédiats ; aussi les machines motrices de toutes sortes étaient-elles représentées, à l'Exposition universelle de 1900, par de nombreux, puissants et très remarquables modèles.

Parmi ces appareils, les moteurs hydrauliques ont, à juste titre, attiré, d'une façon toute particulière, l'attention du monde scientifique et industriel.

C'est sous la forme de l'eau que l'énergie naturelle est la plus répandue sur notre

globe; elle est presque illimitée si l'on considère le travail colossal que représentent ces masses liquides énormes qui se déplacent sur la surface de notre planète.

Les hautes montagnes, avec leurs cimes éternellement blanches, recèlent, sous l'épaisse couche de neige et de glace qui les recouvre, des réserves de force motrice d'une puissance prodigieuse.

Des torrents nombreux se précipitent avec impétuosité des montagnes, broient les rochers et dévastent les vallées, montrant ainsi à l'homme indifférent leur formidable puissance et ce dont ils seraient capables, s'ils étaient domestiqués.

Les rivières et les ruisseaux, ces «chemins qui marchent», sèmeraient la richesse sur leur passage, si, au lieu de vagabonder selon leurs caprices, ils étaient captés et canalisés.

Les grands fleuves qui roulent des volumes d'eau énormes, dans les régions plus basses, ne demandent qu'à se rendre utiles.

Enfin le mouvement des flots n'attend que sa transformation pour répandre le bien-être dans les régions situées sur les bords de la mer et même à de grandes distances à l'intérieur des continents.

On peut se demander quelles sont les causes qui ont retardé aussi longtemps le développement de l'emploi de cette source d'énergie aussi abondante qu'économique.

En effet, de toutes les sources de l'énergie, c'est celle de l'eau qui se transforme le plus avantageusement, puisqu'elle est produite par le fluide naturel qui ne coûte rien, et avec le rendement le plus élevé, les turbines modernes utilisant de 80 à 90 p. 100 de la force qui leur est transmise, tandis que les meilleures machines à vapeur n'atteignent que 15 p. 100 et les moteurs à gaz les plus perfectionnés 30 à 34 p. 100 d'effet utile.

Ces derniers moteurs, notamment, qui possèdent des qualités de souplesse extraordinaires, dont la puissance n'est plus guère limitée aujourd'hui que par celle de l'outillage nécessaire pour les construire, ont, il n'y a pas longtemps encore, retardé le développement et l'emploi de la force motrice hydraulique, parce qu'ils pouvaient être installés partout, dans toutes les situations et à proximité du travail.

Les moteurs à vapeur et à gaz possédaient donc quelques avantages qui manquaient totalement aux moteurs à eau, et l'industrie leur donnait souvent la préférence, malgré l'infériorité considérable de leur rendement mécanique et malgré leur consommation constante de charbon, qui cependant coûte cher et dont l'approvisionnement, disons-le en passant, devient de plus en plus difficile, à cause de l'énorme consommation qui en est faite.

L'emploi de la force des moteurs hydrauliques exigeait, au contraire, l'installation de l'usine à proximité de la chute, dans une situation souvent défavorable, et, dans ce cas, il était nécessaire de recourir à des organes de transmission très coûteux, qui ne s'installaient souvent qu'avec difficultés, qui absorbaient une grande partie de la force et faisaient disparaître ainsi, en partie, les avantages inhérents à l'emploi des chutes d'eau.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Mais l'électricité, cette fée bienfaisante, est venue au secours de l'énergie hydraulique pour faire disparaître ces causes d'infériorité, supprimer les inconvénients dus généralement à la situation des chutes, la placer, au contraire, dans une posture plus favorable que ses concurrentes d'autrefois; elle a fait subir à l'industrie moderne une transformation radicale en ne laissant plus l'usine, où se fabriquent les produits, sous la dépendance directe de l'emplacement de la force, puisqu'elle donne le moyen de transporter, à des distances considérables, bientôt à des centaines de kilomètres, avec une perte très réduite, des milliers de chevaux de force, au moyen de simples fils de quelques millimètres de diamètre.

Cette indépendance de la chute et de l'usine permet, à l'heure actuelle, la réalisation de projets considérés jusqu'alors comme impraticables, puisque moteurs et récepteurs peuvent être, chacun de leur côté, placés aux points qui leur conviennent le mieux.

Il ne faut pas s'étonner, par conséquent, que ce soit vers les forces hydrauliques, qui n'exigent d'autre aliment que l'eau fournie par la source intarissable d'un cycle perpétuel de vaporisations et de condensations dues à la chaleur solaire, que se portent, avec un succès croissant, les efforts de nombreux ingénieurs, depuis que le problème du transport de l'énergie à grande distance est résolu.

Si l'on ajoute à cette situation nouvelle le développement de l'esprit d'initiative des jeunes générations, les progrès réalisés dans l'art de construire, les conceptions mieux étudiées et plus hardies qui permettent d'assurer l'économie dans la dépense, enfin le concours de capitalistes à l'esprit large et entreprenant, malheureusement encore trop peu nombreux en France, on s'expliquera le développement inattendu qu'a pris l'utilisation des chutes d'eau dans les dernières années, et la place considérable qu'elles sont appelées à occuper dans l'avenir. Au lieu de moteurs de 100 à 200 chevaux, fort remarqués il y a dix ans à peine, nous trouvons à l'Exposition de 1900 des machines de plusieurs milliers de chevaux, absorbant le travail de puissantes chutes avec une facilité et une souplesse extraordinaires, et qui mettent en évidence les succès des efforts considérables auxquels nous avons assisté pendant la dernière période du XIXe siècle.

Cette situation commençait déjà à se dessiner lors de l'Exposition de 1889; elle a été signalée à cette époque par M. Hirsch, l'éminent et regretté inspecteur général des ponts et chaussées, professeur au Conservatoire des arts et métiers, dans son magnifique rapport sur les récepteurs hydrauliques qui figuraient à cette exposition.

Le savant ingénieur constatait que dans la période de 1878 à 1889, grâce à l'électricité, les moteurs hydrauliques avaient une tendance à se relever du discrédit dans lequel ils étaient tombés; il prévoyait pour cette branche de l'industrie un puissant essor.

Jamais prévision ne fut mieux justifiée et ne s'est plus complètement réalisée; il s'est en effet produit depuis cette époque une véritable révolution dans l'emploi de la force hydraulique.

Cet emploi, qui s'était maintenu pendant un certain temps dans les limites relativement étroites des applications les plus immédiatement réalisables, se développe avec

rapidité; les découvertes succèdent aux découvertes, les industries nouvelles se créent, et les besoins de force motrice augmentent partout.

L'asservissement des grandes puissances naturelles est entré dans le domaine de la pratique; les chutes les plus élevées et les moins accessibles commencent à être captées; les eaux des plus hautes montagnes, cette «houille blanche», pour nous servir d'une expression pittoresque mais fort juste, sont utilisées par des moteurs puissants et économiques.

Les fleuves les plus importants sont détournés de leur cours et leurs eaux sont dirigées, à travers des canaux de dérivation, sur de puissantes turbines, qui, après en avoir recueilli la force, les rendent un peu plus bas à leur lit primitif où, grâce à la pente naturelle, elles se revivifient et acquièrent une force nouvelle qui est ainsi transformée, de distance en distance, depuis leur source jusqu'à leur embouchure.

La puissance formidable des marées elle-même semble pouvoir être recueillie, dans un avenir prochain, et utilisée sur place ou transportée au centre même des continents.

L'activité humaine trouve dans l'utilisation de ces forces l'élément indispensable à son développement; aussi voyons-nous naître journellement des industries nouvelles, insoupçonnées il y a peu de temps encore; se transformer les industries existantes pour utiliser ces puissances principalement sous la forme de l'électricité, la plus maniable, la plus docile de toutes les formes de l'énergie.

En effet :

Les besoins de lumière soit électrique, soit sous la forme plus nouvelle du gaz acétylène, croissent de jour en jour;

Les tramways électriques, qui multiplient les relations, prennent un développement extraordinaire;

Les chemins de fer de montagne, qui transportent les touristes jusqu'aux plus hauts sommets, pour leur permettre de jouir, presque sans fatigue, des imposants spectacles de la nature, se créent dans tous les pays.

La traction des chemins de fer au moyen de l'électricité est un problème dont la solution définitive peut être envisagée dans un avenir prochain, et l'on voit déjà de puissantes compagnies et des syndicats acquérir des chutes d'eau en prévision de ces besoins [1].

La voiture automobile de l'avenir sera évidemment à moteur électrique, si elle trouve dans les moindres localités, à bon compte, chez le meunier, chez le petit fabricant, chez le mécanicien, des accumulateurs légers de rechange, qui sont chargés au moyen des innombrables turbines, inutilisées pendant la nuit, qui remplaceront partout la vieille roue démodée.

[1] La ligne du Fayet à Chamonix, exploitée par la Compagnie P.-L.-M., et le chemin de fer de Cauterets à Luz sont déjà à traction électrique. En Suède, une commission d'études vient d'être nommée et chargée spécialement de rechercher les forces hydrauliques pouvant être utilisées à la traction des chemins de fer. Aux États-Unis, la Manhattan Railway Company a déjà substitué l'électricité à la vapeur, le courant est fourni par huit groupes électrogènes de 10,000 chevaux chacun.

L'énergie, transportée au moyen de l'électricité, permettra l'établissement des usines dans les situations les plus favorables, à proximité des gares et des canaux, et actionnera, à bon marché, les usines déjà existantes, en tirant parti des forces énormes des cours d'eau de nos montagnes, le plus souvent inutilisables industriellement dans les ravins où elles doivent être recueillies.

La division de cette force et sa distribution à domicile pourront faire revivre, en opposition avec ces énormes concentrations industrielles, l'atelier de famille, si moral et si ardemment désiré, et pourront contribuer à la solution d'un problème social.

La fabrication du carbure de calcium prend un immense développement sur tous les points du globe et exige l'emploi de forces considérables.

Les applications électro-métallurgiques, restreintes jusqu'alors presque exclusivement à la fabrication de l'aluminium, voient un nouveau champ ouvert à leur activité dans la fabrication des métaux purs, tels que le manganèse, le chrome, le nickel, le tungstène, le plomb argentifère, etc., et si le traitement des minerais de fer par l'électricité répond aux résultats que recherchent, avec une foi ardente dans l'avenir, d'éminents spécialistes, la métallurgie du fer, si importante, subira une révolution complète et une transformation radicale dont les suites peuvent être de la plus haute importance, et qui nécessitera l'emploi de forces énormes [1].

L'électrochimie est encore dans l'enfance, et ses besoins de force deviendront aussi importants peut-être que ceux de l'électrométallurgie.

L'emploi des nouveaux fours électriques, capables de traiter toutes les matières à très haute température, prend, même en dehors de la fabrication du carbure de calcium et du traitement des minerais, un développement considérable pour la production du corindon artificiel, du phosphore, du rubis, etc., et nécessitera des forces importantes.

Le chauffage par l'électricité, déjà en usage dans certains cas, pourra être réalisé, lorsque le rendement des appareils sera suffisamment élevé pour transformer d'une façon économique la force en chaleur.

Enfin, d'innombrables applications naîtront lorsque l'énergie sera recueillie abondante et à bon marché.

Ainsi que nous venons de le voir, les besoins de force motrice sont immenses, ils ne font qu'augmenter avec les progrès de la science et de la civilisation.

Demandera-t-on cette force à la machine à vapeur, dont le rendement est si faible, qui exige une consommation de combustible continuelle, d'autant plus onéreuse que le prix du charbon monte d'une façon inquiétante, et que l'épuisement peut en être envisagé, avec raison, dans un avenir plus ou moins prochain?

[1] Des renseignements dignes de foi nous apprennent que cet intéressant problème serait définitivement résolu et va entrer dans le domaine de la pratique; dans la haute Italie, trois hauts fourneaux se construisent actuellement pour l'exploitation des procédés Stassano relatifs à l'extraction du fer au four électrique.

La demandera-t-on aux moteurs à gaz qui, quoique plus économiques, usent cependant encore beaucoup de combustible ?

Évidemment non !

C'est aux éléments naturels qu'on empruntera leur puissance, c'est aux cours d'eau, au flux et au reflux de la mer, qu'il faudra avoir recours pour obtenir, à un prix suffisamment réduit, ces forces considérables qu'exigent le travail et le confort modernes; c'est la turbine hydraulique à grand rendement et à grande vitesse, dont nous trouvons à l'Exposition de 1900 de superbes modèles, qui recueillera l'énergie, la transmettra aux générateurs d'électricité pour la répandre à profusion dans nos grandes villes, comme dans nos plus humbles hameaux.

Pour réaliser ces projets qui auraient paru téméraires, il y a peu d'années encore, pour mettre en valeur ces richesses, il suffit d'un peu de hardiesse et de... capitaux, mais jamais entreprise n'aura été plus utile, plus pratique, ni plus rémunératrice. On trouvera dans l'exploitation des forces hydrauliques des placements avantageux qui viendront contrebalancer l'augmentation progressive et inévitable des dépenses inhérentes à la vie moderne.

HISTORIQUE.

L'utilisation de la force naturelle de l'eau remonte à la plus haute antiquité. Dès les premiers temps l'homme a été amené à suppléer à l'insuffisance de ses forces physiques par celles que la nature a si généreusement mises à sa disposition.

De savants chercheurs ont découvert, en Asie, des vestiges d'ouvrages qui indiqueraient que l'énergie hydraulique y était connue depuis des milliers d'années.

Dans une récente communication à la Société d'anthropologie de Berlin, le docteur Belck signale la découverte de canaux portant le nom de rois chaldéens disparus plusieurs siècles avant notre ère, dont la construction démontre bien que ce peuple se servait déjà de la force hydraulique.

Les Égyptiens, les Phéniciens, après avoir tout d'abord converti en farine le grain nécessaire à leur nourriture en le pulvérisant dans un mortier, ajoutèrent plus tard, au sommet du pilon, un manche qui permettait de lui imprimer un mouvement de rotation continu; le mortier primitif devint ainsi le moulin rudimentaire qu'actionnaient généralement deux femmes. Puis le pilon fut prolongé vers sa partie inférieure et muni de palettes auxquelles l'eau, en les frappant, communiquait une partie de sa force vive, et remplaçait ainsi la force humaine ou animale.

Les plus anciens moteurs hydrauliques paraissent, en effet, avoir été les roues à cuillers, la turbine primitive, dont il existe encore des spécimens dans l'Inde, en Sicile et même dans quelques moulins du Midi de la France.

Ils se composent d'un petit nombre de palettes à surface conchoïde, qui sont fixées au bas d'un moyeu en bois formant arbre vertical.

L'eau est projetée sur ces palettes par un chenal à découvert et, en frappant succes-

sivement chacune d'elles, fait tourner le système en entraînant la meule placée directement à l'extrémité supérieure de l'arbre.

On conçoit de suite que, dans un pareil moteur où l'eau agit exclusivement par choc, et dont une partie s'échappe sans même avoir touché le récepteur, l'effet utile soit très faible et ne dépasse guère 25 p. 100 dans les circonstances les plus favorables. Aussi ne rencontre-t-on plus ces moteurs primitifs que dans quelques rares moulins situés sur des cours d'eau très abondants, dont ils n'utilisent qu'une partie du débit.

Ce fut Bernouilli qui posa, le premier, vers 1730, les lois du travail de l'eau et les principes de la réaction, puis Segner construisit sa roue à réaction qui n'est autre chose qu'un tourniquet hydraulique à plusieurs branches.

Un peu plus tard, Euler établissait la théorie de ses roues et inventa le distributeur qui devait amener des modifications profondes dans la construction des moteurs à eau.

En 1807, un ingénieur français, M. le marquis Le Mannoury d'Ectot, faisait breveter un moteur auquel Carnot attribuait un bon rendement, mais ce fut Burdin, qui, vers 1825, paraît avoir, le premier, établi la théorie de la construction rationnelle des roues hydrauliques à axe vertical, auxquelles il a donné le nom de « turbines », lequel s'est depuis généralisé.

Fourneyron, l'élève de Burdin, créa, en 1832, la turbine centrifuge qui porte son nom, reçut de nombreuses applications et valut à son inventeur le prix de 6,000 francs de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale; ce fut la consécration définitive de la valeur des turbines appliquées aux forces hydrauliques, et le point de départ du développement considérable que devait prendre la construction de ce genre de moteurs.

Presque en même temps Jonval fit breveter sa turbine bien connue, et appliqua le tube de succion qu'on retrouve dans la plupart des turbines modernes.

Fontaine inventa, en 1839, la turbine parallèle dont nous trouvons encore des spécimens au Champ-de-Mars, et donna à l'industrie des turbines un premier essor.

Enfin, l'éminent hydraulicien Girard établit le principe de la libre déviation des filets liquides, et développa sa nouvelle théorie de l'action de l'eau sur les aubes.

Cette innovation importante permit l'utilisation rationnelle des débits variables en maintenant l'effet utile élevé malgré de grandes variations de charge ou de débit.

À partir de cette époque les bases fondamentales de la construction mathématique des turbines étaient parfaitement établies; ces moteurs ne se construisirent plus que sur les lois et les principes établis par Fourneyron, Jonval, Fontaine, Girard; leurs systèmes devinrent classiques.

C'est ainsi que tous les modèles qui figuraient aux Expositions universelles de 1855, 1867, 1878 et 1889 étaient exclusivement inspirés des travaux de ces savants ingénieurs et, à part quelques perfectionnements dans les détails de la construction, les caractères généraux en étaient conservés.

Mais pendant qu'en Europe la question des turbines restait à peu près stationnaire, les Américains, aux conceptions hardies et originales, tout en se basant sur les théories

connues et sanctionnées par l'expérience, créèrent des modèles qui différaient essentiellement, par leurs formes, des turbines classiques adoptées sur l'ancien continent, et s'appropriaient mieux aux exigences nouvelles de l'industrie.

Déjà, en 1849, Francis avait construit la turbine centripète qui porte son nom; elle se répandit d'abord fort peu dans le Nouveau-Monde, reçut quelques applications en Allemagne à partir de 1873, mais ce n'est qu'en 1876, à l'Exposition de Philadelphie, où figuraient de nombreuses turbines à action centripète, que l'attention des spécialistes européens fut attirée sur le développement qu'avait pris la construction des moteurs basés sur ce principe.

Les efforts des ingénieurs d'outre-mer s'étaient portés principalement sur les turbines à grande vitesse, s'accommodant mieux aux besoins des industries électriques qui commençaient à entrer dans une période de grande activité; ils furent couronnés de succès par l'invention de la turbine mixte, dans laquelle l'eau, après avoir pénétré et agi sur la roue mobile suivant une direction radiale et centripète, est évacuée parallèlement à l'axe de rotation.

Des expériences pratiques faites sur une grande échelle sur ce genre de turbines, à l'Exposition de Philadelphie, permirent non seulement des comparaisons intéressantes entre les différents systèmes installés dans des conditions identiques, mais démontrèrent péremptoirement que leur rendement était supérieur à celui des meilleures turbines qui avaient été construites jusqu'alors, et qu'ils offraient, en outre, des avantages réels dans leurs applications.

Pour ces expériences l'eau était fournie par de puissantes pompes qui la puisaient dans un réservoir central et l'élevaient dans un collecteur placé à 10 mètres au-dessus, d'où elle était distribuée aux moteurs.

Ce fut la turbine Risdon qui l'emporta par un rendement de 87 p. 100 pour la pleine admission.

Les constructeurs américains, avec l'esprit pratique et essentiellement commercial qui les caractérise, profitant de ces premiers résultats absolument merveilleux, se mirent à l'œuvre pour retirer tout le profit d'une pareille innovation.

À cet effet, se basant sur la théorie des turbines semblables, ils établirent des modèles de toutes dimensions, pouvant être construits en série, de telle sorte qu'au lieu de nécessiter une étude laborieuse et spéciale pour chaque application, comme l'avaient pratiqué jusqu'alors les constructeurs européens, les turbines purent être construites d'avance, en grande quantité et à très bon marché, sans variation sensible dans le rendement, au moins pour les chutes et les forces courantes.

Née en France, l'industrie des turbines devait grandir en Amérique, avant de revenir sur le continent, où l'activité et l'ingéniosité de constructeurs de mérite l'ont portée, depuis, à un haut degré de perfection.

Il ne faut pas, toutefois, être surpris outre mesure du succès relativement facile des efforts des Américains vers les perfectionnements des turbines hydrauliques, car, non seulement leur pays est admirablement doté en ressources naturelles, mais aussi ils ont

su s'entourer des éléments indispensables pour étudier, avec tous les soins et la précision voulus, les résultats de leurs conceptions, et se rendre compte pratiquement de la valeur de leurs innovations.

En effet, à Holyoke, dans le Massachusetts, la célèbre Holyoke Water Power C°, qui a établi un immense barrage pour recueillir la puissance du Connecticut estimée à 30,000 chevaux, créa une station spéciale pour les essais publics de turbines. La plupart des journaux techniques ont donné, à l'époque, la description de cette intéressante installation.

Dans les premiers temps, cette société fournissait et distribuait l'eau captée aux nombreuses papeteries et usines diverses qui étaient venues se grouper autour d'elle, moyennant une redevance annuelle basée sur la force développée par les moteurs employés.

Mais bientôt, la ville s'étant agrandie, le volume d'eau disponible ne suffisait plus aux demandes, au moins pendant certaines époques de l'année, et la Compagnie se rendit compte que, par suite de l'emploi de moteurs dont l'effet utile laissait souvent à désirer, un grand nombre d'industriels usaient un volume d'eau qui n'était pas en rapport avec la force développée. Elle estima donc, avec raison, qu'en facilitant l'emploi de moteurs à rendement élevé, il lui resterait beaucoup de force à vendre et prit une décision conforme à ses intérêts, en laissant chacun libre d'employer le moteur à sa convenance, mais en faisant payer non plus pour la force obtenue, mais pour le volume d'eau dépensé.

Là se présentait une difficulté : celle de mesurer l'eau et surtout d'en contrôler le volume, lorsque les moteurs, par suite du débit du fleuve, fonctionnaient avec admission partielle.

Cette compagnie eut alors l'idée de faire subir à toutes les turbines une série de trente expériences, afin de mesurer leur débit à différents degrés d'admission et à des vitesses variables, et de se servir ainsi du moteur même comme compteur d'eau.

Pour arriver à ce résultat, elle fit établir une installation spéciale, disposée pour créer une chute artificielle correspondant à celle sous laquelle les turbines devaient fonctionner et qui lui permettait de mesurer, avec précision, le volume d'eau employé pendant toute l'année.

Dans cette installation, un frein, placé horizontalement et d'une construction très remarquable, était appliqué sur l'arbre vertical des turbines et en déterminait la force, en même temps qu'un enregistreur automatique indiquait le nombre de tours et qu'un dispositif spécial permettait de mesurer la chute effective avec précision.

Une série d'expériences faites dans ces conditions permettait d'établir, d'une façon certaine, la valeur pratique d'un moteur; de faire des comparaisons du plus haut intérêt, et de déterminer, enfin, quelle était la turbine utilisant, avec le plus d'économie, l'eau disponible à toutes les époques de l'année.

Cette situation fut le stimulant le plus énergique en faveur de la construction des turbines à grand rendement.

Moyennant une redevance de 10 p. 100 de la valeur de la turbine, chaque constructeur pouvait vérifier ainsi, avec toute la précision voulue, le résultat des améliorations successives qu'il apportait à ses appareils, et de toutes parts des demandes d'expériences affluèrent. Le système centripète, qui formait le principe de la plupart des modèles présentés aux essais, se généralisa et entra définitivement dans le domaine de la pratique.

En France, où les cours d'eau sont, en général, fort capricieux, l'installation d'une pareille station publique d'essais présenterait un intérêt réel ; elle permettrait de vérifier la valeur pratique de moteurs que nous achetons souvent sous des garanties séduisantes, mais bien délicates et difficiles à contrôler.

Mais continuons notre historique sur les intéressants résultats obtenus aux États-Unis, car ils furent le point de départ d'une véritable révolution dans l'art de construire les turbines, laquelle devait avoir, peu d'années après, une immense répercussion dans toute l'Europe, et aboutir à l'invention des modèles de turbines modernes que nous trouvons en 1900 au Champ-de-Mars.

Une quantité extraordinaire de systèmes de turbines avait vu le jour, mais les travaux de Mac Cornik à la Holyoke Machine C° furent bientôt remarqués et attirèrent l'attention sur la turbine « Hercule ».

Après des expériences multipliées, des perfectionnements successifs qui prirent plusieurs années, et dont la recherche était facilitée par la proximité de la station d'essais, cette turbine arriva à un degré de perfection tel que M. Emerson, l'ingénieur hydraulicien bien connu, écrivait dans son ouvrage *Hydrodynamics,* édition de 1881, à la suite d'une série d'essais officiels et comparatifs dont il avait eu la direction : « Plusieurs constructeurs ont obtenu un rendement égal avec admission totale, mais aucun moteur n'a atteint un rendement aussi élevé que celui de la turbine « Hercule » à tous les degrés d'ouverture de la vanne. »

Puis Thurston, du Stevens Institute à New-York, un autre ingénieur connu par ses nombreux ouvrages sur les machines motrices, constatait que « les formules et proportions que Rankine a indiquées pour la construction des turbines avec lesquelles la turbine Hercule a été comparée, ont fait obtenir des résultats qui satisferaient les plus exigeants, mais avec admission partielle la turbine Hercule les dépasse toutes d'environ 25 p. 100 ».

Un aussi brillant succès développa d'une façon extraordinaire les applications de ce système en Amérique, et eut son écho en France, où dès 1883, M. Gustave Richard, le distingué secrétaire de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale à Paris, publiait une très remarquable série d'articles sur les turbines américaines dans le journal *La Lumière électrique ;* il présentait des diagrammes comparatifs relevés par Emerson avec le concours de MM. Ellis et Weber, et constatait que la turbine « Hercule », qui n'occupe que le troisième rang à pleine admission « tient la tête pour tous les degrés intermédiaires », et il ajoutait :

« Ce sont ces circonstances qui ont amené M. Emerson à donner la préférence à la

turbine Hercule, comme celle dont le rendement général est le plus élevé et le moins variable. »

Cette publication eut un certain retentissement dans notre pays, mais disparaît trop vite sous le scepticisme qui accueille souvent à juste titre les découvertes qui nous arrivent de l'autre côté de l'Océan.

Cependant, déjà à cette époque, une maison française, MM. Singrün et fils, d'Épinal (Vosges), avait suivi avec soin les recherches des Américains et les résultats obtenus, et pu se rendre compte, *de visu*, de la réalité des avantages du nouveau système de turbines.

Elle avait, en outre, été frappée par l'énorme puissance des moyens de fabrication en usage dans les usines du Nouveau-Monde, laquelle menaçait d'étendre son influence et d'accaparer le marché des moteurs hydrauliques sur l'ancien continent.

Avec une rare clairvoyance, elle distingua la voie nouvelle qui s'ouvrait à l'industrie des turbines hydrauliques, et n'hésita pas à faire les sacrifices nécessaires pour introduire en France la construction et l'application des moteurs qui venaient d'obtenir, en Amérique, de si brillants succès.

La première turbine fut installée en France en 1885, et les résultats furent si concluants que l'inévitable hésitation des débuts fut immédiatement dissipée.

Les années suivantes un certain nombre de turbines de ce système furent installées dans notre pays et ne firent que confirmer les premiers résultats.

Ce fut alors que MM. Singrün entreprirent la construction, sur une grande échelle, et en spécialité, de la turbine « Hercule », en introduisant dans leur usine les procédés de production intense qui marquent la supériorité commerciale des Américains.

L'Exposition universelle de 1889 les trouva encore en pleine organisation, ils ne purent y prendre part. Aussi, comme le faisait fort judicieusement remarquer M. Hirsch dans son rapport sur cette exposition, n'y figuraient que des turbines de construction classique; aucune ne révélait le mouvement considérable qui commençait à se dessiner en faveur des nouveaux modèles, dont les premières applications venaient d'être faites dans différentes régions de notre pays.

Dès 1890, la turbine « Hercule » avait pris une place importante sur le marché français et l'application des turbines centripètes mixtes prit, en France, le développement extraordinaire que nous avons pu constater à l'Exposition de 1900.

Émus par le succès croissant de la nouvelle turbine, la plupart des autres constructeurs français et étrangers, qui, jusqu'alors, n'avaient pas cru à l'importance de l'innovation, en comprirent toute l'étendue, sortirent de leur torpeur, se mirent à l'œuvre et créèrent, eux aussi, des modèles de turbines basés sur les principes de celle qui venait de faire si brillamment ses preuves.

Ils se rendirent compte que son succès était justifié; les avantages de la turbine centripète mixte n'étaient plus discutés et son application se généralisa d'une façon si inattendue qu'à l'heure actuelle, les systèmes de turbines qui figuraient à l'Exposition de 1889, sont, à quelques exceptions près, complètement abandonnés. C'est ce qui nous

explique le grand nombre de turbines centripètes mixtes que nous admirons au Champ-de-Mars en 1900,

En parcourant les galeries de cette superbe exposition, notre amour-propre national se trouve flatté de pouvoir constater que nos constructeurs français tiennent le premier rang parmi les exposants de ces turbines nouvelles; qu'ils ont perfectionné considérablement les modèles américains qui ont servi de point de départ à leurs travaux et que, loin d'être tributaire de l'étranger, la France, au contraire, exporte un grand nombre de turbines, perfectionnées, dans tous les pays du monde et peut même lutter avec les Américains sur leurs propres marchés.

Notre pays possède maintenant des usines qui construisent les moteurs hydrauliques en spécialité; qui ont été étudiées et construites en vue de cette fabrication unique; dans lesquelles l'on trouve appliqués les perfectionnements les plus récents de l'outillage et les applications les plus modernes de l'électricité; dont la puissance de production approche et dépassera probablement bientôt celle des plus importants producteurs américains, et qui, déjà à l'heure actuelle, possèdent dans leurs magasins souvent plusieurs centaines de turbines pour toutes chutes et pour toutes forces, prêtes à être expédiées immédiatement[1].

Mais si, d'un côté, nous avons vu que la France avait fait des progrès énormes dans les applications de la force motrice hydraulique, nous constatons avec satisfaction que, dans la section étrangère, son active voisine, la Suisse, grande productrice de moteurs hydrauliques, a réalisé, de son côté, des perfectionnements importants dans l'application des turbines centripètes du genre Francis.

Son infatigable activité s'est étendue aussi, avec les résultats les plus heureux, aux turbines à haute pression, pour lesquelles ni le système Francis ni la turbine mixte, qui reçoivent l'eau sur toute leur circonférence, ne peuvent convenir, et, pour ces applications spéciales, son choix s'arrêta sur la turbine Girard, perfectionnée, à admission partielle, ainsi que sur les roues-turbines tangentielles, dérivant principalement d'une autre invention américaine connue sous le nom de roue Pelton.

Les efforts des constructeurs suisses se sont portés d'une manière toute particulière sur les appareils de régulation automatique de la vitesse des turbines, et leurs modèles, absolument remarquables, de la plus haute précision, et qui donnent satisfaction aux exigences croissantes des électriciens, n'ont qu'un seul défaut : c'est d'être encore un peu trop coûteux.

L'exposition de Genève, où figuraient déjà en 1896 un certain nombre de ces appareils, donnait comme un avant-goût de la superbe manifestation que les constructeurs helvètes préparaient pour l'Exposition de 1900 à Paris.

On rencontre, en Suisse, ce pays si industrieux et si merveilleusement doté par la nature, peut-être les installations les plus ingénieuses et les plus hardies, les concep-

[1] Société des Établissements Singrün, à Épinal (Vosges).

tions les plus variées et les plus originales de l'utilisation de la force motrice hydraulique en Europe.

Ce pays peut être fier aussi d'avoir vu s'établir sur les dessins et les indications de ses ingénieurs[1] les turbines monstres qui utilisent, en Amérique, les célèbres chutes du Niagara.

Si les Américains ont bouleversé, par des dispositions nouvelles et originales, l'industrie des turbines, il n'en est pas moins acquis que, sous le rapport du fini du travail, leurs produits laissent trop souvent à désirer, et que, lorsqu'il s'agit d'applications de l'importance de celle du Niagara, leur méthode de limiter le choix des appareils aux modèles créés spécialement en vue d'une production intensive peut être critiquée.

En effet, pour arriver à des résultats satisfaisants, il faut joindre la résistance à la légèreté indispensable aux organes énormes de moteurs de plus de 5,000 chevaux. Pour s'approprier exactement aux conditions locales qui, comme dans ce cas particulier, ont une importance considérable, les dispositions étudiées d'avance ne peuvent plus être conservées, et il est nécessaire que chaque pièce du moteur soit calculée avec la plus grande précision et jusque dans ses plus petits détails.

C'est un travail long et minutieux que les constructeurs d'outre-mer hésitent souvent, à tort, d'entreprendre, lorsqu'ils ne sont pas assurés d'avance du résultat favorable des propositions qui leur sont demandées.

Sous ce rapport les constructeurs européens ont beaucoup plus de confiance dans la loyauté de leurs clients, apportent à leurs projets et à leurs études bien plus de soins, et cette manière d'agir compense fréquemment leur incontestable infériorité commerciale.

Signalons encore d'une façon toute particulière le superbe « Salon d'honneur », situé au premier étage de la grande galerie des groupes électrogènes, qui a été organisé par les soins des éminents professeurs de l'École polytechnique de Zurich. On y admire une superbe collection de dessins coloriés, à grande échelle, des plus importantes installations hydrauliques faites en Suisse, qui sont d'une exécution vraiment artistique, d'une clarté remarquable, jusque dans leurs plus petits détails, et nous trouvons là une série de documents de la plus haute valeur scientifique, historique et industrielle, uniques en leur genre, qui font le plus grand honneur à leurs auteurs.

Cette exposition met en lumière l'importance du concours, non seulement moral, mais aussi pécuniaire que l'État suisse apporte, et l'intérêt qu'il attache à tout ce qui touche à l'éducation professionnelle de la jeunesse; elle permet d'apprécier à quel degré une telle organisation et de pareilles ressources peuvent contribuer au développement de l'industrie dans un pays.

Si l'organisation générale de l'Exposition de 1900 avait permis de placer ce Salon d'honneur au centre des produits de la Mécanique, ceux-ci y auraient gagné en intérêt pour le public et la démonstration plus frappante encore des efforts faits chez nos voi-

[1] MM. Picard et Pictet, de Genève.

sins pour le développement de l'instruction professionnelle eût, sans nul doute, produit un effet salutaire sur tous ceux auxquels incombe la lourde tâche d'instruire nos jeunes générations.

Il est regrettable que les Américains n'aient pas cru devoir affronter sérieusement la lutte avec la vieille Europe, car nous ne trouvons que deux exposants, qui présentent des moteurs peu importants et sans intérêt particulier.

On peut déplorer aussi l'absence, dans la section des moteurs hydrauliques, de pays tels que l'Allemagne, l'Angleterre et l'Italie, dont il eût été intéressant de suivre les progrès réalisés.

Enfin, pour terminer notre aperçu de l'évolution de la force motrice hydraulique, nous devons constater que, si autrefois l'industrie pouvait se contenter de la vieille roue à eau et des anciennes turbines à faible rendement, il n'en est plus de même aujourd'hui, car ces moteurs ne répondent plus aux besoins de l'époque, aux exigences d'une industrie à production intensive; ce sont des machines puissantes, de 1,000, 2,000 et même 5,000 chevaux de force qu'il nous faut et la turbine moderne, à rendement élevé, seule est capable de nous donner satisfaction.

L'Exposition universelle de 1900 ne laisse aucun doute sur l'abandon définitif de la roue hydraulique en faveur de la turbine; en 1889, elle n'était déjà plus représentée que par quelques rares spécimens et, en 1900, aucune roue ne figure plus dans la grande collection des moteurs à eau.

AMÉNAGEMENT D'UNE CHUTE D'EAU.

L'hydraulique est une des branches les plus complexes et, en même temps, les plus intéressantes de la science de l'ingénieur. Elle a tenté l'imagination de bien des inventeurs, mais elle est aussi une de celles qui leur ont réservé le plus de déceptions, parce que, bien souvent, les principes les plus élémentaires de cette science étaient méconnus ou mal appliqués.

Avant de décrire les turbines exposées, il convient d'indiquer sommairement ce qu'est, en définitive, une chute d'eau; quels sont les éléments avec lesquels il faut compter avant d'établir une installation hydraulique; et, enfin, de donner un aperçu des différents principes sur lesquels reposent les moteurs nouveaux que nous avons à examiner.

Une force hydraulique se compose de deux éléments : le débit du cours d'eau qui forme la masse, et la hauteur de chute dont dépend la vitesse ou la pression.

L'énergie obtenue est donc le produit du volume d'eau par la vitesse et varie avec chacun de ces deux facteurs.

Le débit est fourni par le volume d'eau naturel qui arrive de la source et qui se grossit par les affluents.

La vitesse imprimée à la masse liquide d'un cours d'eau dépend de la pente naturelle de son lit, et elle est d'autant plus grande que cette pente est plus prononcée.

La chute est la différence de hauteur verticale entre deux points considérés de la surface d'une nappe d'eau en mouvement.

Le flux et le reflux de la mer, qui ont pour principale cause, ainsi que l'a démontré Newton, l'attraction qu'exerce la masse de la lune sur les molécules de l'Océan, produisent aussi une dépression qui peut être considérée comme une véritable chute.

Les cours d'eau peuvent être divisés en deux classes :

Ceux à régime tranquille, ou à faible pente, que forment les fleuves et les rivières à grand débit et sur lesquels on aménage généralement les basses et quelquefois les moyennes chutes;

Ceux à régime torrentiel, ou à forte pente, dont le débit est généralement moins important, sur lesquels on crée les moyennes et les hautes chutes.

Pour créer une chute, on établit en travers du cours d'eau, en un point convenablement choisi, un barrage ou une retenue, qui sert, soit à élever le niveau de l'eau en amont, soit à dévier tout ou partie du débit dans un lit nouveau, ayant moins de pente que le lit naturel.

Dans le premier cas, les moteurs sont placés immédiatement au-dessous du barrage, et c'est surtout l'élévation du niveau de l'eau dans le bief d'amont qui forme la chute.

Dans le deuxième cas, le barrage est généralement beaucoup moins important, il n'élève que très peu le niveau de l'eau en amont, et la chute est formée principalement par la différence qui existe entre la pente naturelle du cours d'eau et celle du fond du canal de dérivation, auquel on ne donne que la pente strictement nécessaire à l'écoulement du débit que l'on veut utiliser.

Cette chute est donc d'autant plus grande que le canal de dérivation est plus long et que les moteurs sont plus éloignés de la retenue.

Le choix de l'emplacement d'une force hydraulique quelconque doit donc satisfaire à de nombreuses exigences techniques, locales ou financières, et il est très important de ne perdre de vue aucun de ces facteurs, lorsqu'on a à décider l'installation d'une chute d'eau.

PRINCIPES DES TURBINES MODERNES.

Si nous recherchons maintenant dans quelles conditions s'opère le travail de l'eau, et comment la puissance en est recueillie par les différents systèmes de moteurs actuellement employés, nous trouvons, en examinant les turbines exposées, qu'en se basant sur la direction que prennent les filets liquides pendant leur trajet dans le moteur, elles peuvent se classer en :

a. Turbines centripètes pures;

b. Turbines centripètes à aubage demi-mixte;

c. Turbines centripètes à aubage mixte;
d. Turbines parallèles;
e. Turbines centrifuges;
f. Turbines tangentielles à haute pression.

Les turbines centripètes sont les plus nombreuses et représentent la presque totalité des moteurs applicables aux basses et aux moyennes chutes; les turbines tangentielles tiennent, de leur côté, la tête des moteurs spéciaux pour chutes élevées, et nous allons indiquer quelques-unes des particularités qui caractérisent ces moteurs nouveaux, ne jugeant pas utile de nous étendre, ici, sur les turbines parallèles et centrifuges qui ont été souvent décrites.

Turbines centripètes. — Les turbines centripètes s'emploient surtout pour les basses et les moyennes chutes; elles s'appliquent d'une manière plus particulièrement avantageuse à la commande des machines génératrices d'électricité, à cause de leur grande vitesse, de leur régularité et de la facilité avec laquelle on peut les accoupler directement aux dynamos ou aux alternateurs.

Bien établies, elles donnent, en principe, un rendement plus élevé que les turbines parallèles et centrifuges, parce que l'eau qui entre dans le récepteur par la circonférence le quitte au centre, c'est-à-dire au point où la vitesse résiduelle est la plus faible et où, par conséquent, la perte due à cette cause est la plus réduite.

Au point de vue de la régularité et contrairement aux turbines centrifuges, dans lesquelles la force centrifuge est un élément de perte, et aux turbines parallèles, dans lesquelles la veine liquide est déviée de son trajet normal, cette force centrifuge est, dans les turbines centripètes, un élément favorable, puisque, en cas d'augmentation de la vitesse, la force centrifuge tend à diminuer l'affluence de l'eau qui pénètre dans le moteur, et qu'elle l'amplifie, au contraire, lorsque cette vitesse diminue, pour intervenir dans les deux cas en faveur de la constance du régime.

C'est la raison qui fait dire que les turbines centripètes sont *autorégulatrices* et une de celles qui ont contribué, dans une large mesure, au développement de leur emploi pour la production de l'électricité.

Cette autorégularisation n'est évidemment que relative et n'évite pas toujours l'adjonction de régulateurs automatiques spéciaux, mais elle est trouvée suffisante dans un grand nombre de cas.

Ajoutons que la turbine centripète se prête admirablement à l'application d'appareils automatiques de vitesse.

Les turbines centripètes pures, dans lesquelles l'eau agit uniquement suivant une direction radiale, sont celles qui, pour une chute et une force données, tournent le moins vite, car, l'évacuation se faisant tout entière au centre, il faut donner à la roue un diamètre suffisant pour que la section libre intérieure puisse écouler l'eau avec le minimum de vitesse à la sortie, un des facteurs du rendement (fig. 136).

Ce modèle de turbines s'applique surtout aux chutes d'eau d'une certaine hauteur, dans lesquelles la vitesse $\sqrt{2gH}$ due à la pression de la colonne d'eau permet de donner à la roue motrice un diamètre suffisant, en rapport avec le nombre de tours prévus et le volume d'eau à évacuer; elles se construisent aujourd'hui plus spécialement à axe horizontal, mais on les établit également à axe vertical.

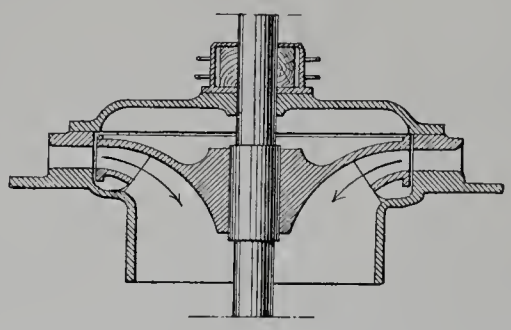


Fig. 136. — Turbine centripète pure.

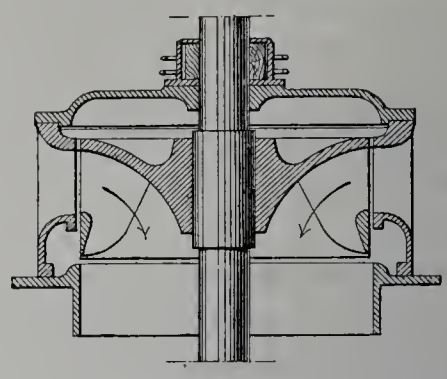


Fig. 137. — Turbine centripète demi-mixte.

Dans les turbines centripètes demi-mixtes, l'eau arrive sur les aubes suivant une direction radiale, puis se dévie pour quitter la roue motrice sous l'angle de 45 degrés environ que fait l'arête intérieure avec l'axe (fig. 137).

Cette disposition permet d'augmenter la hauteur du distributeur et de la roue mobile, par conséquent les sections d'entrée et de sortie de l'eau, de sorte que, pour un même diamètre de turbine, le volume d'eau absorbé est plus grand et par suite la force du moteur plus importante, que dans la turbine centripète pure. On conçoit de suite que, la vitesse de rotation de la turbine étant toujours fonction de la hauteur de chute et du diamètre du moteur, ce dernier tournera d'autant plus vite que son diamètre sera plus réduit.

Le système demi-mixte présente, par conséquent, l'avantage d'un encombrement moindre dans l'installation, d'une plus grande vitesse pour une force et une chute déterminées et s'emploie plus fréquemment pour des chutes moyennes.

Enfin les turbines centripètes mixtes reçoivent l'eau radialement et la déchargent parallèlement à l'axe (fig. 138).

La hauteur des organes distributeur et récepteur est encore augmentée, le diamètre diminué; c'est la turbine «à grande vitesse», puisqu'elle développe le maximum de puissance avec le minimum d'encombrement.

On a longtemps qualifié de moteurs à grande vitesse les turbines classiques dans lesquelles les angles d'entrée et de sortie avaient une grande valeur, et lorsque la vitesse circonférentielle de régime de la roue motrice dépassait les six dixièmes de la valeur de $\sqrt{2gH}$; c'est une des causes qui ont contribué à faire déclarer tout d'abord comme impossibles, même par des ingénieurs hydrauliciens, les résultats des premières applications de turbines mixtes en France. Ils ne s'étaient qu'imparfaitement rendu

compte des principes du fonctionnement et de la construction de ce genre de moteurs, parce qu'ils ne possédaient, à ce moment, aucun des éléments de comparaison avec les turbines primitives.

On s'explique facilement, en examinant la question de plus près, que, dans le système mixte, l'arête intérieure de l'aubage mobile étant très développée, la hauteur du distributeur peut être presque égale à son rayon; le diamètre est très réduit, tout en conservant des angles très faibles. On peut donc maintenir un rendement élevé qui, comme on le voit, n'a rien d'incompatible avec une grande vitesse de rotation.

La turbine centripète mixte s'emploie plus particulièrement pour les basses chutes depuis un mètre et pour les moyennes chutes, jusqu'à trente mètres de hauteur.

Elle permet d'absorber de grands volumes d'eau sous des dimensions réduites, en assurant à l'arbre moteur une vitesse de rotation plus grande que dans les autres systèmes, condition très favorable, pour les industries électriques principalement, car elle réduit les dépenses premières et facilite l'installation à un tel point que, dans certains cas, l'utilisation d'une chute d'eau devient pratique, alors qu'elle aurait été difficile ou peu avantageuse avec l'emploi d'un autre genre de moteurs.

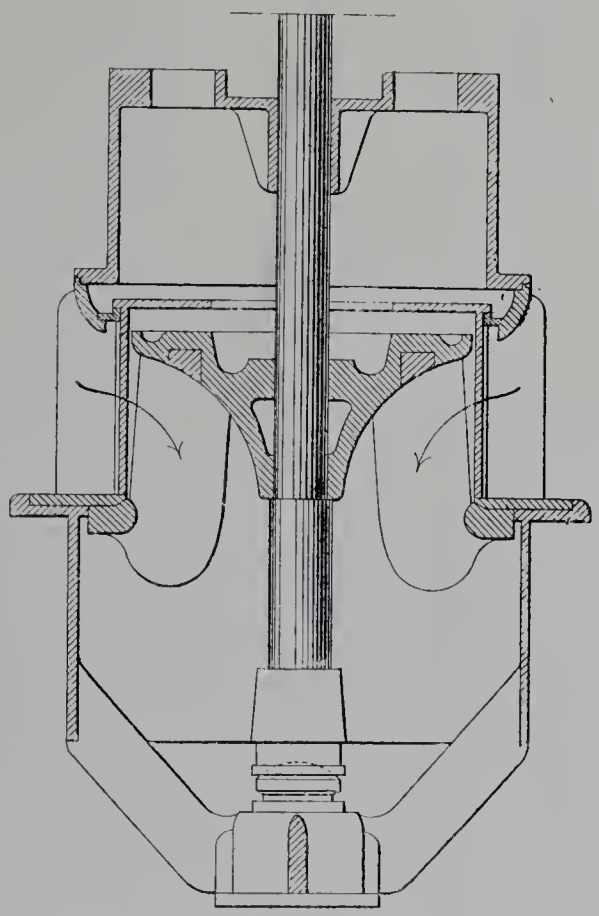


Fig. 138. — Turbine centripète mixte.

Turbines tangentielles. — Pour l'utilisation des hautes chutes, les turbines centripètes que nous venons de décrire et, en général, tout moteur recevant l'eau sur toute ou une grande partie de sa circonférence, ne sont plus applicables, parce que, dans ce genre d'installations, le volume d'eau est généralement plus faible, et les dimensions des moteurs deviendraient si réduites, leur construction si délicate et enfin leur vitesse de rotation si exagérée, qu'ils seraient incompatibles avec une bonne marche industrielle.

Jusqu'alors on employait surtout pour ces chutes élevées des turbines centrifuges, à axe horizontal, dont nous trouvons, du reste, encore quelques spécimens à l'Exposition de 1900. Ces moteurs sont basés sur les principes établis par Girard, mais depuis quelques années nous est venue, encore d'Amérique, une roue-turbine à action tangentielle, dite *roue Pelton*.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Dans ce moteur, l'eau agit uniquement par sa force vive, et les applications s'en développent, sur l'ancien continent, d'une façon imprévue. La plupart des turbines à haute pression qui figurent au Champ-de-Mars sont basées sur le principe de cette roue, et ne diffèrent que par des détails de construction, ou des perfectionnements dans le mode de l'injection de l'eau lorsqu'il y a des variations de charge ou de débit.

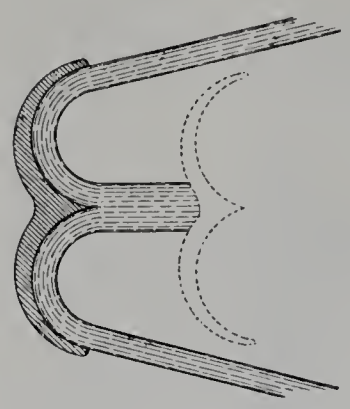


Fig. 139. — Aube de roue Pelton.

La roue *Pelton* est toujours à axe horizontal et reçoit l'eau par un ou plusieurs ajutages qui la dirigent sur les augets tangentiellement à la circonférence.

Les augets sont de forme conchoïde double; la cloison médiane présente à la veine liquide une arête vive qui la divise en deux et la dévie de chaque côté de la roue pour lui donner une direction perpendiculaire à celle primitive (fig. 139). Continuant son trajet, l'eau quitte les augets dans une direction sensiblement opposée à la première, formant avec elle un angle très faible (10 à 12 degrés), strictement suffisant à son évacuation.

L'expérience a démontré que des moteurs de ce système bien établis donnent un rendement effectif de 75 à 80 p. 100.

Turbines diverses. — Les turbines centrifuges parallèles, à admission totale ou à libre déviation, exposées dans la section des moteurs hydrauliques, sont toutes de construction classique et ne présentent d'intérêt que dans certains de leurs organes spécialement établis en vue de conditions locales de marche ou d'installation.

MOTEURS HYDRAULIQUES.

I. DESCRIPTION.

Le chiffre total des turbines exposées est de 78 qui se répartissent comme suit :

France	38 turbines
Suisse	27
États-Unis	8
Hongrie	3
Norwège	1
Suède	1
Ensemble	78

Si nous les décomposons par systèmes, nous trouvons :

Centripètes..	pures	5 turbines.
	à aubage demi-mixte	9
	à aubage mixte	25
Parallèles		8
Centrifuges		9
Tangentielles à haute pression		22
	TOTAL	78

Ces moteurs peuvent se diviser en trois catégories :

Les turbines pour basses chutes, comprenant 20 spécimens;

Les turbines pour moyennes chutes, comprenant 33 spécimens;

Les turbines pour hautes chutes, comprenant 25 spécimens.

Nous allons passer à la description de toutes les expositions particulières, en commençant par les basses chutes, pour arriver successivement aux turbines pour moyennes et enfin pour hautes chutes.

Cette classification nous permettra de réunir en un même chapitre tous les moteurs d'une même catégorie, applicables dans les mêmes conditions de chute et de débit, et facilitera les comparaisons.

Pour l'examen détaillé des turbines de chaque catégorie, nous adopterons l'ordre de classement déterminé par le Jury international pour les récompenses.

TURBINES POUR BASSES CHUTES.

Les turbines de cette catégorie comprennent :

Centripètes mixtes	17 turbines.
Parallèles	3
TOTAL	20

Elles sont toutes à réaction et s'appliquent plus spécialement aux chutes de 0 m. 80 à 12 mètres.

Turbines centripètes mixtes. — Les turbines centripètes mixtes sont toutes basées sur le principe de la turbine *Hercule;* nous commencerons donc par examiner les appareils exposés par la maison Singrün frères, qui a introduit cette turbine en France et y a apporté toute une série de perfectionnements qui ont abouti à la turbine *Hercule-Progrès* si connue, à laquelle la Société d'encouragement pour l'industrie nationale a décerné, en 1897, une médaille d'or.

MM. Singrün frères, d'Épinal, présentent cinq turbines *Hercule-Progrès,* système breveté s. g. d. g. pour basses chutes.

L'eau, qui arrive tout autour de la turbine, pénètre vers le centre de celle-ci, à travers les directrices du distributeur L, agit sur les aubes H de la roue mobile, en forme de cuillers, en changeant de direction, et s'écoule dans le canal de fuite par le tube de décharge E muni d'une bride tournée qui supporte toute la turbine (fig. 140).

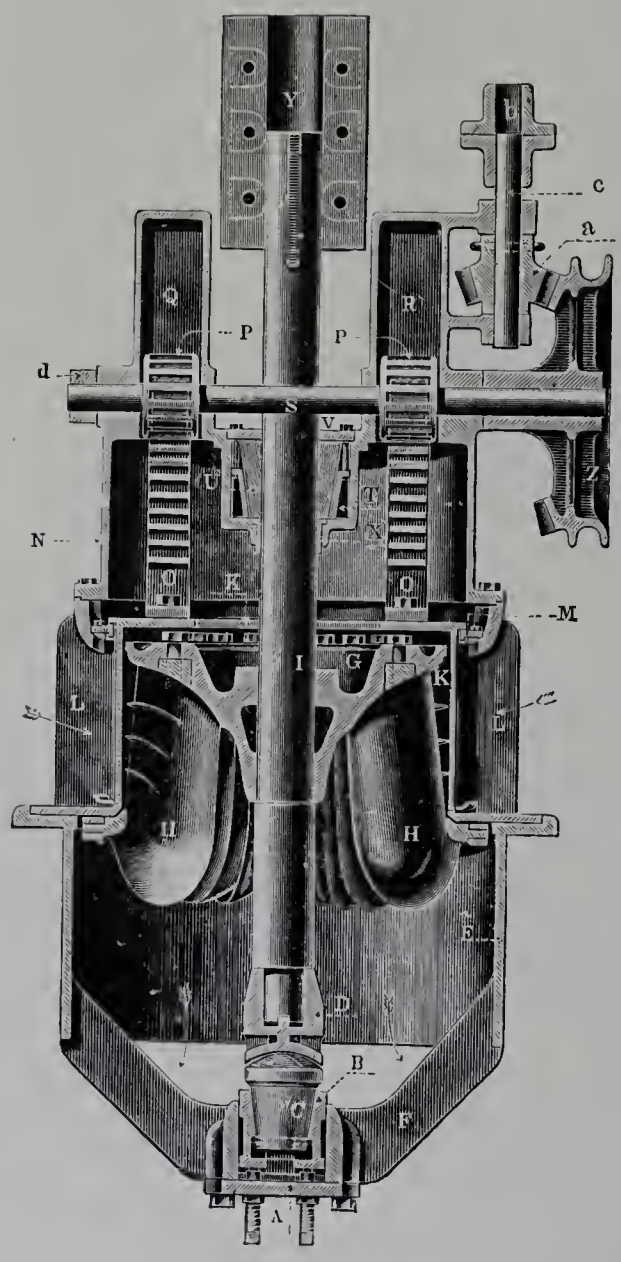


Fig. 140. — Coupe d'une turbine Hercule-Progrès.

Ce tube agit d'une façon analogue au tube de succion Jonval et porte un croisillon F avec douille centrale alésée dans laquelle est placée une boîte de pivot B recevant le pivot C destiné à supporter la roue motrice H.

Cette boîte sert au réglage de la turbine, en hauteur, au moyen de deux vis de rappel *e* taraudées dans la plaque du bas A, qui, étant enlevée, permet de retirer le pivot par le dessous, sans démonter la turbine, pour le remplacer en cas d'accident.

Le pivot C est en bois dur spécial, convenablement préparé, et se lubrifie par l'eau; il doit, par conséquent, toujours être immergé dans le bief d'aval. Ainsi établi, sa durée est indéfinie.

Sur le pivot tourne une crapaudine à circulation d'eau D fixée au bas de l'arbre vertical I lequel porte, à son extrémité supérieure, un manchon Y destiné à accoupler la turbine avec un arbre en prolongement qui porte les engrenages ou les poulies transmettant le mouvement aux appareils à actionner. Un porte-aubes G est calé sur l'arbre I et forme avec les aubes, qui sont à double courbure, le récepteur ou la roue motrice.

Ces aubes sont travaillées sur toutes leurs faces, et encastrées dans une rainure tournée du porte-aubes, dans laquelle elles sont fixées au moyen de vis.

Les aubes H sont divisées, en hauteur, en un certain nombre d'étages, par de petites cloisons directrices dont le rôle est de maintenir une direction toujours normale et parallèle aux filets liquides, afin de conserver un rendement élevé, lorsque la turbine marche avec admission partielle.

Le distributeur L porte à sa partie inférieure une bride tournée, encastrée dans

celle du tube de décharge, ainsi qu'une couronne supérieure fortement arrondie pour éviter la contraction de l'eau au passage. A l'intérieur de cette couronne se trouve un cercle mobile tourné M, en deux pièces, encastré dans la couronne du distributeur, formant le joint supérieur de la vanne K. Une des directrices du distributeur est mobile, emmanchée en queue d'aronde, et peut se retirer pour permettre de visiter l'intérieur de la turbine, ou de la nettoyer si c'est nécessaire, sans faire aucun démontage spécial.

Une vanne cylindrique K, tournée sur toutes ses faces, est placée entre le distributeur et l'aubage H; elle se meut verticalement au moyen de deux crémaillères O et de deux pignons P calés sur un arbre horizontal S qui porte un engrenage poulie Z commandé par un pignon unique *a;* ce pignon est calé sur un petit arbre *c* portant un manchon d'accouplement *b* destiné à être raccordé avec le mécanisme de manœuvre supérieur placé à la portée de la main, sur le sol de l'usine, pour régler, à volonté et instantanément, la dépense d'eau et la vitesse de la turbine et opérer ainsi la mise en marche ou l'arrêt du moteur.

Cette vanne s'appuie sur une face tournée de la bride du distributeur L pour former le joint inférieur, son étanchéité étant assurée à la partie supérieure par une saillie tournée qui repose sur le cercle M.

Afin de rendre la manœuvre de la vanne très rapide en même temps que très douce, son poids est équilibré par un contrepoids *h,* attaché à une chaîne *i* qui passe sur un galet *g* et s'enroule sur la poulie engrenage Z, ou s'en déroule suivant qu'on ouvre ou qu'on ferme la vanne.

Un dôme cylindrique N repose dans une feuillure tournée sur le distributeur L, et recouvre complètement la vanne et tout son mécanisme dont elle met tous les organes à l'abri des causes accidentelles qui pourraient en empêcher le fonctionnement.

Afin de réduire le plus possible la hauteur de la turbine et d'assurer le graissage des coussinets supérieurs, même sous les chutes les plus basses, un boitard, avec coussinets en bois U et coins de serrage T, est placé en contre-bas du couvercle du dôme qu'il affleure à sa partie supérieure.

Les coussinets ont pour but de maintenir l'arbre I parfaitement central concurremment avec la douille X.

L'intérieur de la turbine peut être visité et tout le mécanisme de vannage enlevé, en démontant simplement les boîtes couvre-engrenages Q et R.

Suivant la hauteur de la chute, la nature des eaux et la force à développer, les aubes motrices se font en fonte aciéreuse extra-résistante, en bronze, en acier coulé ou en acier forgé.

L'on remarque dans ce système de turbine que la vanne coulissant entre le distributeur et la roue motrice laisse entre ces deux organes un intervalle d'une certaine importance, encore accentué par une inclinaison voulue de l'arête extérieure des aubes de la roue motrice.

Cette disposition, qui, à première vue et si l'on ne considère que les théories appli-

quées jusqu'aujourd'hui, paraît anormale, est, au contraire, si l'on examine la question de plus près, avantageuse au point de vue du rendement ; il se forme, autour de la roue mobile, un anneau liquide continu dont tous les éléments sont animés d'une direction et d'une vitesse uniformes, alors que, dans les moteurs dans lesquels les aubes directrices forment le prolongement de celles du distributeur, le passage successif de ces aubes devant les orifices et les directrices de la roue fixe provoque inévitablement des chocs sur le bord d'entrée de l'aubage, des tourbillons dans la masse liquide, qui occasionnent, malgré les soins les plus minutieux dans la construction, une perte d'effet utile.

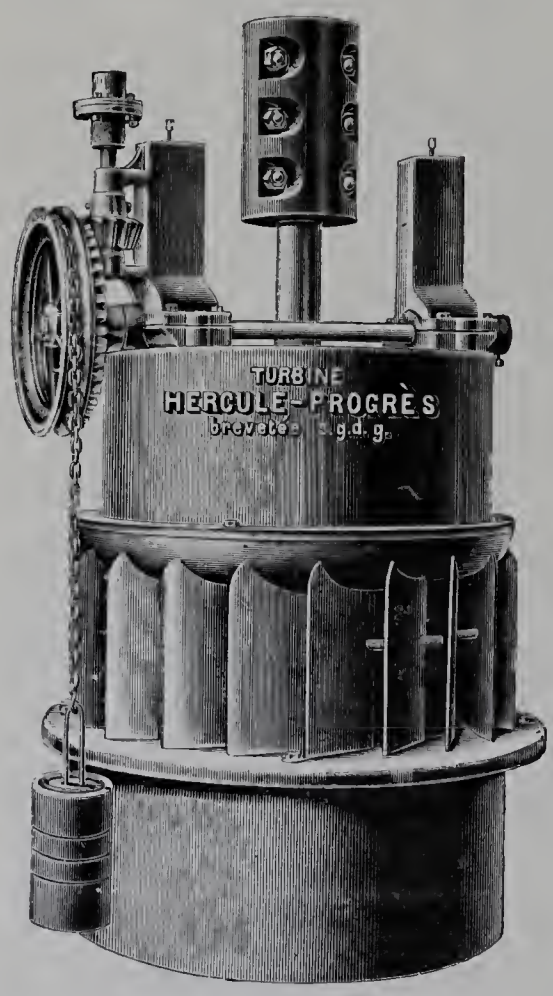


Fig. 141. — Turbine Hercule-Progrès (vue extérieure).

Les différents modèles de cette turbine que MM. Singrün frères présentent à l'Exposition universelle de 1900 sont fort remarquables tant par la belle exécution que par la diversité et l'originalité des applications et comprennent :

a. Une turbine Hercule-Progrès à axe vertical, du n° 63 de la série, qui, sous une chute de 5 mètres, absorbe 8,400 litres d'eau par seconde, et développe une force de 450 chevaux à la vitesse de 75 tours par minute (fig. 141).

Son diamètre extérieur est de 2 m. 60, sa hauteur totale, de 3 mètres.

L'eau est introduite par 28 orifices directeurs sur 24 aubes, en tôle d'acier embouti, montées sur un porte-aubes en fonte. La section totale du distributeur est de 1 m. 50, la hauteur des orifices, de 0 m. 725, et le diamètre intérieur, de 1 m. 850. La vanne cylindrique est en tôle d'acier doux, l'arbre moteur, en acier forgé, le pivot, en bois.

L'application du pivot en bois a l'avantage d'être simple et de n'exiger ni lubrifiant, ni entretien ; son apparition a causé, d'abord, une profonde surprise dans le monde industriel et a été l'objet de violentes controverses, mais l'expérience a prouvé que bien préparé et convenablement immergé dans l'eau d'aval, cet organe fonctionnait durant de longues années sans trace d'usure, alors que tous les autres modèles employés jusqu'alors nécessitaient toujours beaucoup de soins et sont d'un prix beaucoup plus élevé.

Le pivot en bois est adopté, en principe, depuis longtemps pour toutes les turbines américaines, et, aujourd'hui, dans un grand nombre de turbines en Europe ; il donne

d'excellents résultats à la seule condition que le bois soit bien choisi, qu'il soit installé de manière qu'en aucun cas, même par les plus fortes variations du débit d'aval, il ne puisse être dénoyé, et que la surcharge qu'on lui impose ne dépasse pas une limite normale.

L'application de butées, à frottement bois sur acier dans l'eau, n'est pas nouvelle, elle est employée depuis de longues années dans la marine, pour la butée de l'hélice sur l'étampot, et Reuleaux constate que la pression peut, sans inconvénient, atteindre 1 kilogramme par millimètre carré, coefficient très élevé, qu'il ne convient même pas de dépasser dans le frottement métal sur métal graissé par l'huile.

C'est là une simplification évidente dans la construction des turbines hydrauliques, au moins dans les moteurs auxquels on n'impose aucune surcharge anormale; elle exige toutefois certaines précautions dans l'établissement de la chambre d'eau, de manière à rendre l'accès du pivot facile en cas d'accident fortuit.

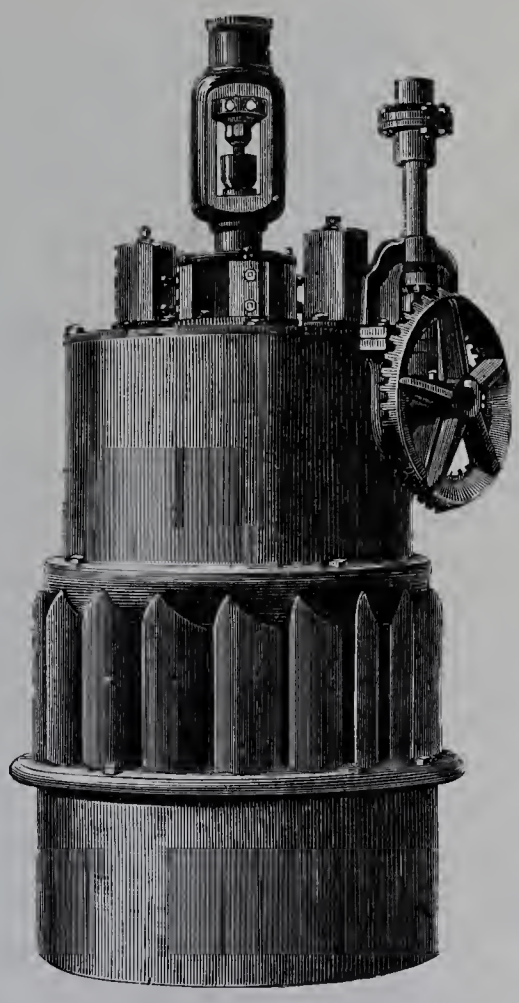


Fig. 142. — Turbine Hercule à pivot hors de l'eau.

b. La deuxième turbine que nous examinons est une Hercule-Progrès à axe vertical d'une force de 26 chevaux sous la chute de 1 m. 80, vitesse 85 tours par minute.

Elle a un diamètre de 1 m. 50, une hauteur de 2 m. 10, porte 24 directrices et 22 aubes en fonte aciéreuse.

Le pivot est placé sous le dôme de la turbine, et se compose de deux anneaux, en acier trempé et rectifié, concentriques à l'arbre, entre lesquels s'interpose une rangée de billes qui tournent dans un bain d'huile. Cette disposition a l'avantage d'assurer au moteur une marche particulièrement douce, le coefficient de frottement étant réduit à son minimum, mais elle est plus coûteuse que le pivot normal en bois, et exige un certain entretien.

L'aubage moteur est du modèle breveté s. g. d. g. à patin et ailettes directrices, la vanne est cylindrique, équilibrée, et se manœuvre par un volant qui agit, par l'intermédiaire d'une vis sans fin, sur les pignons et les crémaillères. Le manchon d'accouplement est du système à plateaux sur lesquels viennent s'appuyer les vis de réglage de la boîte à billes.

c. Puis nous trouvons une turbine Hercule-Progrès à axe vertical de 15 chevaux

sous une chute de 3 mètres avec 225 tours par minute, construction normale avec pivot en bois, telle que nous l'avons décrite pour la turbine *a*.

d. Une turbine Hercule-Progrès de 20 chevaux sous 3 mètres de chute avec arbre creux, même construction que les précédentes, avec la particularité que le pivot est hors de l'eau, frottement métal sur métal, graissage à huile (fig. 142).

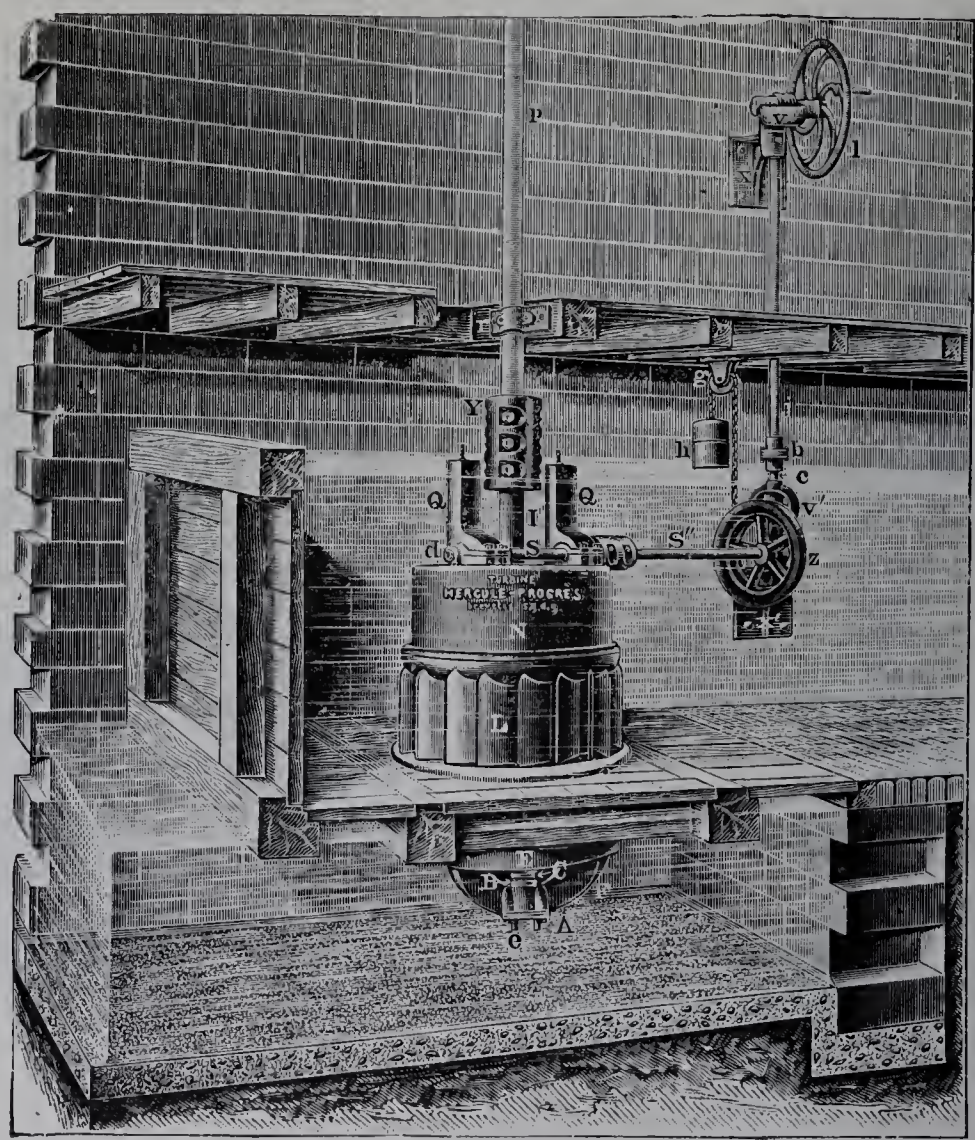


Fig. 143. — Turbine Hercule-Progrès montée dans sa chambre d'eau.

Ce genre de pivot, avantageux dans certains cas où l'immersion du pivot en bois ne peut être assurée d'une façon suffisante, n'est appliqué qu'exceptionnellement par ces exposants, et seulement sur la demande formelle des clients, car ils estiment celui en bois préférable et présentant une sécurité au moins égale, mais ils ont voulu faire figurer à l'Exposition les diverses variétés de pivots applicables à leurs moteurs.

e. Enfin nous remarquons une turbine Hercule-Progrès à axe vertical de 5 chevaux sous la chute de 2 m. 50 montée dans sa chambre d'eau en bois et maçonnerie, avec

l'aménagement complet des canaux d'amenée et de fuite, la vanne d'entrée de la chambre, la grille d'arrêt, le pont de service et toute la transmission par engrenages et poulie nécessaire pour la commande d'une usine (fig. 143).

Cet ensemble montre bien au visiteur comment se pratique, dans la réalité, l'installation d'une turbine pour basses chutes.

L'idée de placer le moteur dans les conditions de la réalité est d'autant plus heureuse qu'elle ne se rencontre auprès d'aucun autre exposant; elle permet aux personnes les moins familiarisées avec les questions hydrauliques de se rendre compte des avantages et des facilités d'installation des turbines modernes.

L'on nous présente, pour terminer les turbines pour basses chutes, une petite turbine Hercule-Progrès, modèle de démonstration, réduction au 1/10, installée dans une chambre d'eau et munie du mécanisme complet de commande d'un appareil quelconque.

Une chambre d'eau métallique reçoit l'eau nécessaire à la turbine par un robinet branché sur la conduite générale de l'Exposition et la décharge, par un tuyau en caoutchouc, dans une conduite d'évacuation.

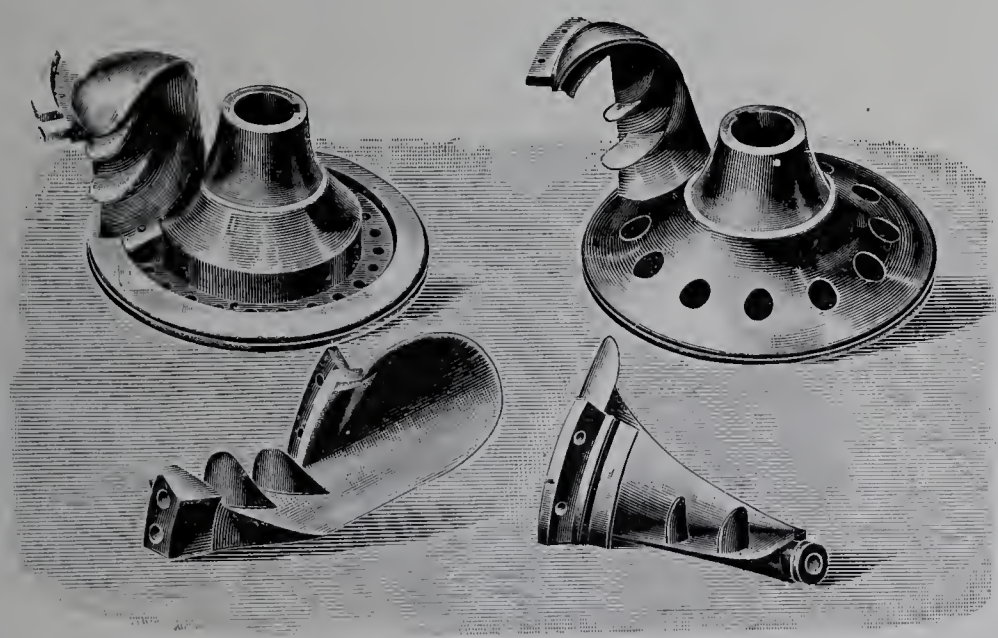


Fig. 144. — Aube de turbine Hercule-Progrès. Aube de turbine Hercule (ancien modèle).

Une disposition spéciale de la chambre d'eau permet de faire subir au niveau d'aval des variations importantes et de se rendre compte du fonctionnement de la turbine dans les diverses conditions de marche normale ou noyée; des regards en verre permettent d'observer l'écoulement de l'eau à la sortie du moteur, et l'on constate qu'il a toujours lieu sans tourbillons ni remous, avec une vitesse modérée, toutes circonstances qui indiquent d'une façon certaine que dans ce système de turbines l'utilisation de l'eau est aussi complète que possible.

Le rendement des turbines Hercule-Progrès est, du reste, d'au moins 80 p. 100, chiffre que garantissent les constructeurs, mais il atteint souvent beaucoup plus, et nous

avons sous les yeux le certificat d'essais officiels dans lesquels ce rendement a atteint 90 p. 100.

Signalons une roue motrice de turbine Hercule-Progrès avec aubage en bronze, exposée détachée (fig. 144), et une autre de l'ancien modèle Hercule, dans lequel les aubes, au lieu d'être encastrées dans une rainure, sont simplement maintenues par un tourillon et une vis. Enfin une roue de turbine Hercule-Progrès dont les aubes sont coulées d'une seule pièce avec le porte-aubes; cette roue est remarquablement bien réussie.

Nous retrouverons auprès d'autres exposants ce mode d'assemblage des roues motrices et nous donnerons, à ce moment, notre appréciation sur sa valeur.

MM. Teisset, Vve Brault et Chapron, de Chartres, exposent cinq turbines pour basses chutes.

Fondée en 1837, par M. Fontaine, l'inventeur de la turbine qui porte son nom, cette maison, l'une des plus anciennes de France, n'a cessé de s'occuper des moteurs hydrauliques en même temps que de la construction des appareils de mennerie.

Ses préférences étaient partagées, avec juste raison et suivant les circonstances locales, entre les turbines de son fondateur, les autres systèmes classiques et les roues hydrauliques.

C'est ainsi qu'en 1889, MM. Brault, Teisset et Gillet, prédécesseurs de la maison actuelle, ont exposé, dans la grande galerie du Champ-de-Mars, une série de turbines Fontaine, Girard, et dans la section de l'agriculture les modèles de l'installation d'une roue hydraulique pour l'alimentation du canal de Pierrelatte.

Mais l'évolution qui se produisait en France dans l'industrie des turbines, ainsi que nous l'avons vu dans la première partie de ce rapport, était bien de nature à compromettre l'avenir des constructeurs qui ne suivraient pas les traces du progrès, et, dès 1893, la maison de Chartres mit en mains l'exécution d'une série de 22 modèles d'une turbine centripète mixte qu'elle dénomma «Américaine» et qui différait peu de la turbine Hercule.

Le pivot en bois de cette dernière fut cependant remplacé par le pivot Fontaine hors de l'eau.

Ce n'était pas une innovation à proprement parler, puisque le principe en avait déjà été appliqué, quelque temps auparavant, par d'autres constructeurs à des turbines du même genre, mais cette adaptation n'en est pas moins intéressante.

C'est dans ces conditions que nous trouvons aujourd'hui la turbine «Américaine» de MM. Teisset, veuve Brault et Chapron, très dignement représentée à la Classe 20 par une belle collection de turbines pour basses chutes composée de :

a. Une turbine «Américaine» de 470 chevaux sous la chute de 4 mètres, vitesse 58 tours, débit 11,200 litres par seconde, axe vertical avec pivot hors de l'eau (fig. 145).

La roue mobile de cette turbine est exposée détachée; elle est remarquable, comme du reste tout l'ensemble du moteur, par ses grandes dimensions (environ 2 m. 50 de

diamètre de roue mobile); chacune des aubes est encastrée dans le porte-aubes par deux tenons et maintenue par des vis.

b. Une turbine «Américaine» de 22 chevaux sous la chute de 4 mètres avec 510 litres d'eau par seconde et une vitesse de 234 tours par minute,

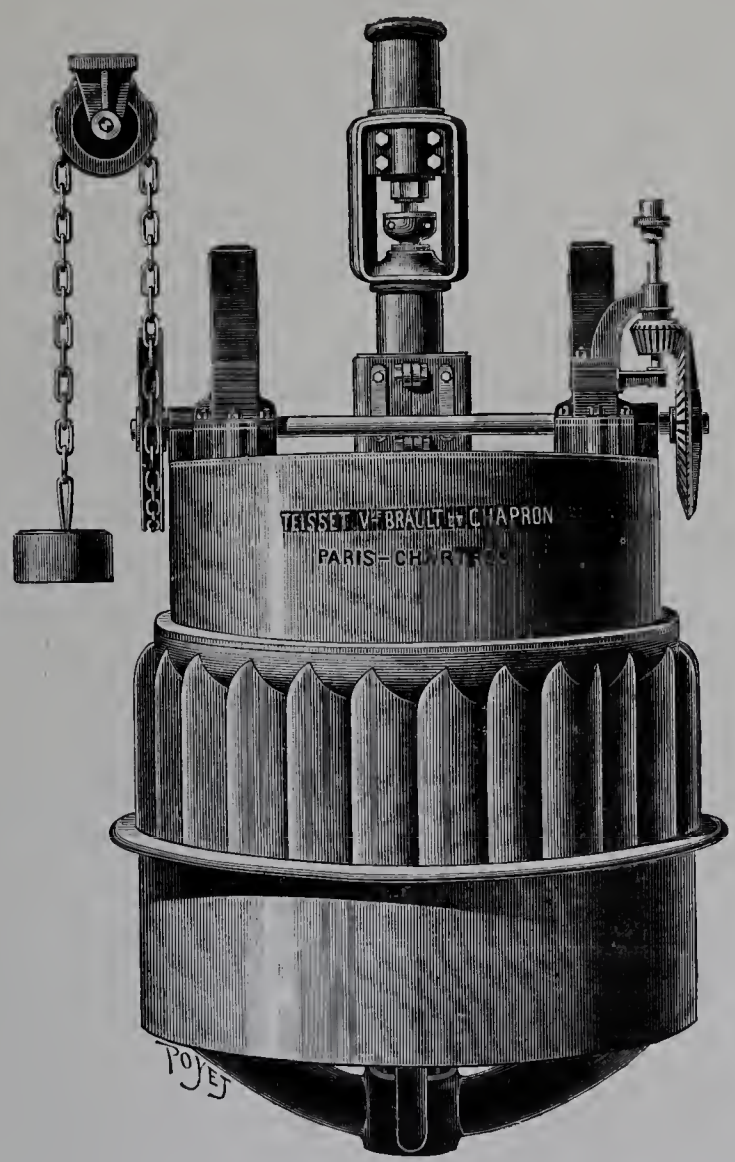


Fig. 145. — Turbine «Américaine» à pivot hors de l'eau.

Cette turbine est montée sur un châssis formant chambre d'eau; la vanne obturatrice est disposée pour la manœuvre automatique au moyen du régulateur Ribourt dont nous parlerons dans le chapitre spécial de ces appareils.

c. Une turbine de 38 chevaux, toujours sous la chute de 4 mètres, vitesse 175 tours par minute, débit 909 litres par seconde;

d. Une turbine de 52 chevaux, sous 4 mètres de chute, vitesse 155 tours, débit 1,210 litres. Ces turbines *c* et *d* sont exposées sans leur arbre vertical.

e. Une turbine de 5 chev. 70 sous 4 mètres de chute, 468 tours, axe vertical avec pivot en bois.

Nous ne nous attarderons pas à décrire la turbine «Américaine» puisqu'il suffit de rappeler que ses éléments constitutifs sont les mêmes que ceux de la turbine «Hercule» que nous connaissons déjà; ils ne diffèrent que par des détails de construction et par l'application du pivot supérieur hors de l'eau.

Remarquons cependant que MM. Teisset, veuve Brault et Chapron construisent également les turbines avec pivot en bois, mais, dans ce cas, ils conservent l'arbre creux du pivot hors de l'eau, ce qui facilite le travail en série.

Du n° 1 au n° 11, les aubes des roues motrices sont fondues d'une seule pièce avec le porte-aubes; à partir du n° 12 elles sont assemblées sur ce dernier par un ou deux tenons circulaires et fixées par des vis.

La fonte d'une pièce des aubes avec le tourteau qui les porte est un mode de construction qui présente certaines difficultés d'exécution et exige une grande habileté et une connaissance parfaite des procédés de la fonderie; il est déjà employé depuis quelque temps en Amérique et semble se généraliser en Europe, car l'économie de main-d'œuvre qui en résulte, dans la construction de la roue motrice, couvre rapidement les frais de première dépense de matériel spécial.

Nous pensons toutefois que ce procédé, s'il est économique pour les turbines de vente courante, ne doit pas être employé lorsqu'il s'agit d'installations importantes dans lesquelles on cherche à obtenir le rendement le plus élevé, en même temps que le maximum de facilités pour le cas de réparation.

En effet, la coulée d'un seul jet d'une pièce aussi délicate qu'une roue mobile de turbine mixte détermine nécessairement des efforts de contraction si violents et si divers, en raison de la forme spéciale des différentes parties et des variations considérables dans la section du métal, qu'il faut prendre des précautions toutes particulières pour éviter des ruptures au refroidissement; puis, même si la pièce réussit parfaitement à la coulée, des tensions internes du métal peuvent subsister, et produire la rupture sans cause apparente.

Même lorsque les aubes, coulées séparément, sont scellées dans le tourteau par la fonte en fusion de celui-ci, il est particulièrement difficile d'éviter et de se rendre compte des efforts de contraction dans l'assemblage.

Le remplacement d'une aube, en cas d'accident, et la rectification des surfaces en contact avec l'eau, deviennent à peu près impossibles.

Dans la roue mobile avec aubes rapportées, au contraire, aucune tension dangereuse ou anormale ne peut exister, lorsque l'assemblage est convenablement exécuté, chaque aube peut être réglée, rectifiée, polie avec la plus grande facilité, et c'est l'unique moyen d'obtenir un organe parfait, répondant au maximum de rendement.

Quant à la question de prix de revient, il est incontestable que les roues d'une seule pièce sont bien moins coûteuses à établir et présentent, sous ce rapport, un avantage sur les roues à aubes rapportées.

MM. Teisset, veuve Brault et Chapron exposent encore une magnifique collection de roues motrices de toutes dimensions parmi lesquelles une roue de turbine américaine n° 18, fondue d'une seule pièce, d'une remarquable exécution; elle a 1 m. 650 de diamètre et pèse 3,200 kilogrammes.

Pour compléter l'examen des moteurs que nous venons de voir, M. Teisset, qui fait au Jury les honneurs de cette exposition, remet à M. le Président un intéressant travail sur les turbines centripètes mixtes, dans lequel il développe la théorie de l'entrée de l'eau sur l'aubage mobile, la comparaison du travail des pivots en bois avec les pivots métalliques, l'action du principe de la jonvalisation; enfin il donne une méthode de tracé des aubes motrices.

La Société Jacob Rieter et Cie, à Winterthur (Suisse), présente une turbine mixte à axe vertical, établie pour une force de 159 chevaux, sous la chute de 5 m. 25, à la vitesse de 124 tours par minute. Sa construction est identique à celle des turbines « Américaines » que nous avons déjà vues chez MM. Teisset, veuve Brault et Chapron; il est donc inutile de revenir sur la description de ce moteur. Le pivot est supérieur, à anneaux concentriques, avec serpentin refroidisseur.

MM. Laurent et Collot frères, de Dijon, exposent une turbine centripète du modèle dit *Normale*, qu'ils nous déclarent construire depuis 1894.

Cette turbine est à axe vertical et développe une force de 56 chevaux avec 1,320 litres d'eau par seconde et une vitesse de 155 tours par minute (fig. 146).

Les aubes sont en forme de cuillers, comme nous venons de le voir dans les modèles de turbines précédents, la vanne est cylindrique, mais coulisse à l'extérieur du distributeur; la partie inférieure est munie d'ailettes rapportées en tôle qui emboîtent complètement les directrices.

Le mouvement de levée de la vanne est obtenu par un système de pignons et de crémaillères placés sur un couvercle fixé sur le distributeur.

Cette disposition assure le guidage de l'eau dans le distributeur, mais nous paraît devoir exiger un certain entretien lorsque la turbine utilise des eaux calcaires ou fortement chargées de matières étrangères.

Le mécanisme de vannage placé tout entier à l'extérieur, disposition que nous retrouverons dans les turbines exposées dans la section des États-Unis, facilite le démontage et les réparations, mais son usure doit être beaucoup plus rapide que lorsqu'il est à l'abri du sable, comme dans les turbines précédentes, car la vanne, lorsqu'elle est ouverte, forme une cuvette de dépôt naturel des matières en suspension dans l'eau.

La roue motrice est semblable à celle des turbines « Hercule », mais les aubes sont lisses, sans aucune disposition pour guider l'eau; l'effet favorable de la vanne ne nous semble donc pas assuré sur tout le parcours de la veine liquide.

Le pivot est en bois de gaïac supporté par un balancier compensateur identique à celui adopté par Fourneyron dans ses turbines centrifuges.

D'une utilité réelle dans les turbines à pivot métallique, cette disposition nous paraît cependant présenter de moindres avantages lorsqu'elle est appliquée aux pivots en bois,

car, si ce genre de pivots est pratiquement exempt d'usure lorsque l'installation en est faite convenablement, et qu'il est constamment immergé dans l'eau, l'expérience a cependant prouvé que, dès que cette usure commence, pour une cause quelconque, l'organe est détruit complètement et en quelques instants; l'usure n'est jamais progressive. Dès qu'elle se fait sentir, l'action du levier compensateur devient un luxe, d'une utilité contestable.

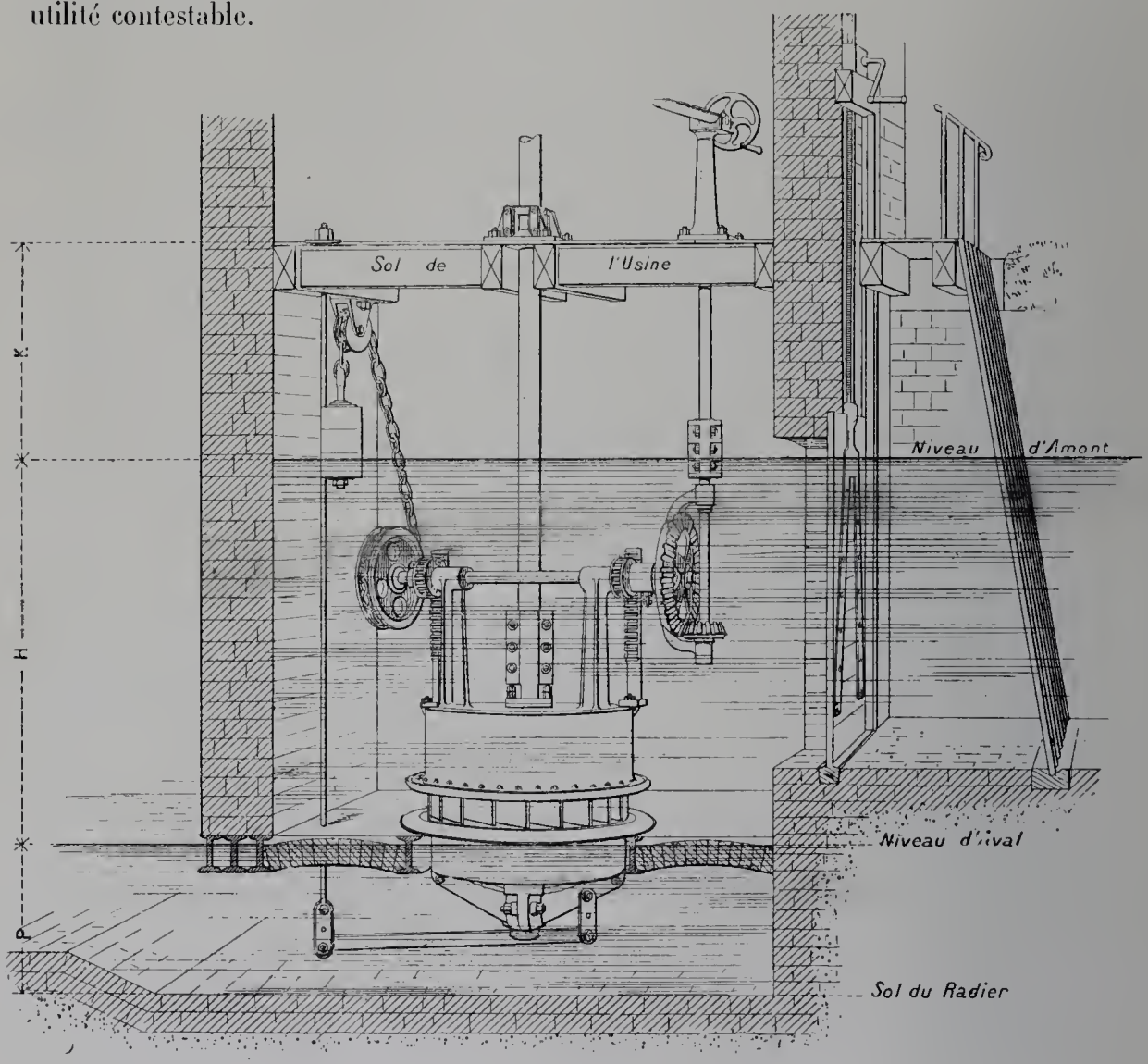


Fig. 146. — Turbine «Normale» dans sa chambre d'eau.

MM. Laurent et Collot frères nous présentent ensuite des roues motrices isolées pour turbines «Normales».

Ces roues sont formées d'aubes assemblées sur leur siège par un tourillon unique, encastré et fixé par un seul boulon; la partie inférieure est rivée par deux frettes en acier.

Cet assemblage peut être appliqué aux petites forces, mais sa résistance laisse à désirer lorsque les turbines fonctionnent sous des chutes un peu élevées.

MM. Darblay père et fils, d'Essonnes, nous montrent une turbine centripète mixte, à axe vertical, destinée à être placée dans une chambre d'eau ouverte.

Elle est construite pour marcher sous 2 mètres de chute, en développant 20 chevaux de force à la vitesse de 98 tours par minute.

La vanne est du système à cylindre obturateur coulissant verticalement entre le distributeur et la roue mobile.

Le dôme a de très grandes dimensions et contient tout le mécanisme de la vanne, qui se trouve ainsi à l'abri des corps étrangers et de toute cause extérieure d'arrêt; l'accès intérieur est assuré par un trou d'homme.

Les aubes de la roue motrice sont en bronze, démontables, et sont maintenues, en plus d'un frettage extérieur, par un croisillon fixé sur l'arbre de la turbine qui assujettit le bord intérieur de chaque aube.

La partie supérieure de chaque aube est, en outre, encastrée par un tourillon et maintenue par une vis.

Cette disposition donne de la résistance à l'assemblage, mais, comme elle obstrue la section intérieure d'écoulement de l'eau, on peut se demander s'il ne se forme pas des tourbillons nuisibles au rendement. L'expérience seule pourra répondre d'une façon efficace.

Dans tous les cas, la disposition mérite bien d'être signalée.

Le pivot est à billes, du système Vigreux; il donne de bons résultats sous les chutes basses et même moyennes lorsque la vitesse n'est pas exagérée, mais il n'est pas à notre connaissance que cette application ait été faite à des turbines de grande puissance, dont le pivot est fortement chargé.

S. Morgan Smith and C°, de York Pa (États-Unis), exposent, dans la catégorie des turbines pour basses chutes, quatre turbines centripètes mixtes, dont une du type dit «MC» et trois du type «NS».

La turbine MC est du modèle n° 24, développant une force de 25 chevaux sous une chute de 3 m. 040, avec 773 litres d'eau par seconde et une vitesse de 194 tours par minute.

De même origine que la turbine «Hercule», elle se compose des mêmes éléments et ne diffère que par l'application du mécanisme de commande de la vanne à l'extérieur du dôme, comme nous l'avons déjà vu dans la turbine «Normale» de MM. Laurent et Collot frères, de Dijon, la vanne obturatrice restant logée entre le distributeur et la roue mobile (fig. 147).

Cette dernière est coulée d'une seule pièce, comme dans plusieurs turbines que nous avons déjà décrites, le bord extérieur des aubes, dans la partie centripète, étant incliné en avant sur l'axe du moteur.

Cette disposition favorise, avec le moins de perte possible, l'entrée de l'eau sur l'aubage; l'exposant y attache, pour les débits variables, une importance que nous ne partageons pas complètement, puisque ces turbines fonctionnent toujours avec une forte réaction et que la position plus ou moins inclinée de l'arête extérieure ne saurait, à notre avis, avoir une grande influence si la section d'écoulement à la sortie n'est pas

modifiée en même temps que le degré d'admission, ou bien que les filets liquides ne sont pas dirigés convenablement sur tout le parcours.

Le pivot est en bois dur, la turbine est disposée pour recevoir, à la partie supérieure, un pivot de sûreté; le boitard qui guide l'arbre dans le passage du dôme est également muni de coussinets en bois lubrifiés par l'eau.

MM. Sloan et Cie, qui représentent à Paris la maison Morgan Smith, nous déclarent qu'il se construit un modèle de turbine MC développant 2,726 chevaux, sous 11 m. 85 de chute, avec 21,572 litres d'eau par seconde et une vitesse de 116 tours par minute.

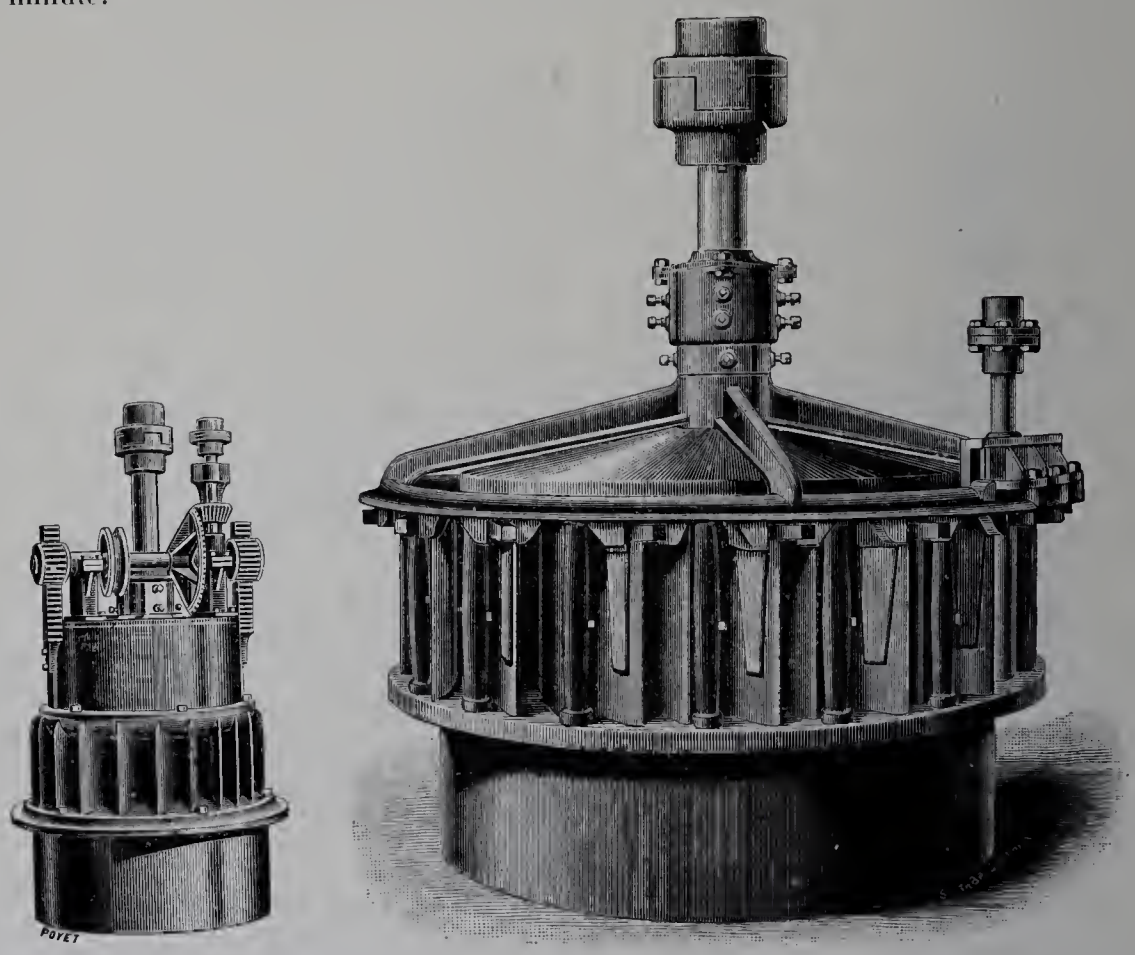


Fig. 147. — Turbine Morgan Smith, type MC.

Fig. 148. — Turbine Morgan Smith, type NS.

Les turbines NS sont spécialement étudiées pour les basses chutes, et établies de façon à ce que le boitard supérieur soit toujours immergé dans le niveau d'amont, pour éviter toute introduction d'air dans la turbine, parfois cause de perte dans le rendement (fig. 148).

La roue motrice de ces turbines est identique à celle des turbines MC.

La vanne est supprimée, l'obturation se fait par les directrices du distributeur qui sont mobiles autour d'un axe dont le mouvement met la section des orifices d'introduction en rapport avec le degré d'ouverture que l'on désire, et les ferme complètement si l'on veut arrêter la turbine (fig. 149).

Un secteur denté, qu'actionne un engrenage fixé sur un arbre qui porte un manchon d'accouplement, est muni de talons qui entraînent les directrices dans leur mouvement de rotation.

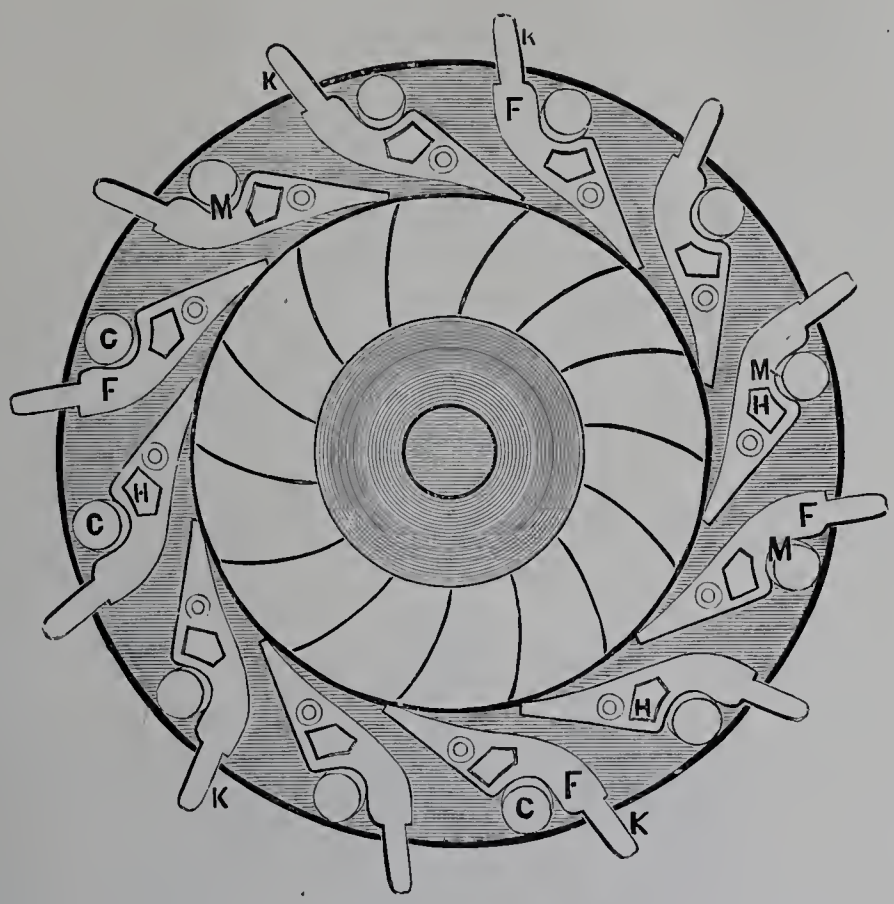


Fig. 149. — Coupe horizontale d'une turbine Morgan Smith NS.

Ces turbines se distinguent surtout par la grande rapidité avec laquelle s'opère leur démontage.

Les trois turbines de ce type sont à axe vertical pour chambre d'eau ouverte, et sont des modèles n°s 12, 15 et 24, développant respectivement 2 chevaux 1/2, 4 chevaux 2 et 14 chevaux 2 sous la chute de 2 m. 128.

Les pivots sont en bois comme dans les turbines MC.

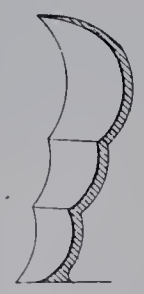


Fig. 150. — Aube d'une turbine, type NS.

La turbine NS n° 12 porte un aubage spécial pour débits variables. La partie supérieure des aubes, au lieu d'être verticale ou inclinée vers l'avant, comme dans les

IMPRIMERIE NATIONALE.

autres turbines du même modèle, est formée de trois courbes successives qui ont pour but de diviser la lame d'eau en hauteur, de former comme trois étages, c'est-à-dire trois moteurs superposés (fig. 150).

Nous avons déjà trouvé une disposition à peu près analogue dans les premières turbines mixtes que nous avons décrites, dans lesquelles les aubes sont divisées, verticalement, en sections par des directrices venues de fonte avec l'aubage.

Le dispositif de M. Morgan Smith nous paraît néanmoins nouveau, mais il ne présente, à notre avis, aucun avantage sur les autres moyens employés pour arriver au même résultat; le système de vanne qui admet l'eau sur toute la hauteur de l'orifice, quel que soit le degré de l'admission, ne nous semble, du reste, que peu favorable à ce genre d'aubes, et nous pensons qu'en appliquant ce dispositif à la turbine MC avec vanne cylindrique, on atteindrait le but d'une manière beaucoup plus complète.

Turbines parallèles. — Les turbines parallèles pour basses chutes comprennent : deux turbines Fontaine et une turbine Royer.

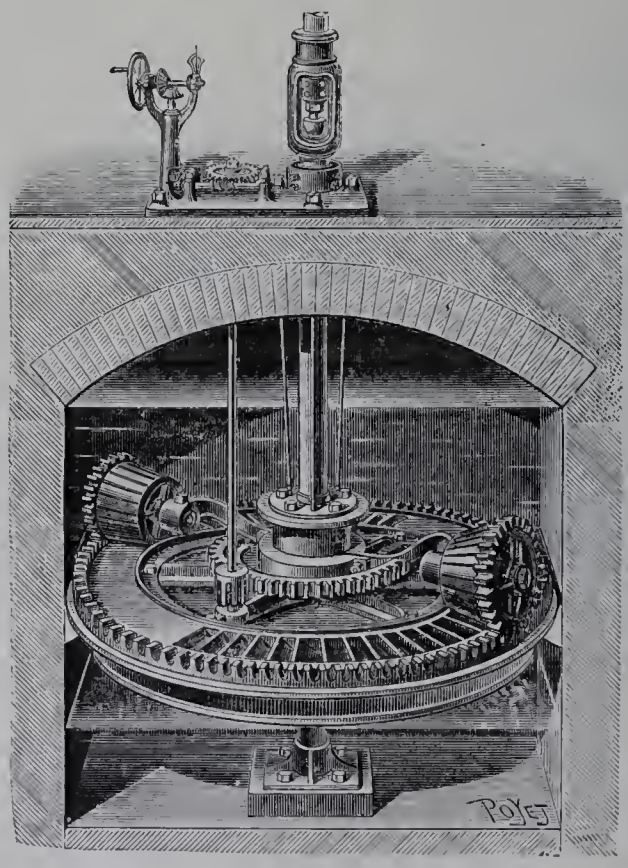


Fig. 151. — Turbine système Fontaine.

MM. Teisset, veuve Brault et Chapron nous montrent une turbine parallèle Fontaine, à axe vertical de la force de 6 chevaux, sous 2 mètres de chute, vitesse : 43 tours par minute (fig. 151).

La construction est celle classique sur laquelle il est inutile de donner des détails; on

les trouve très complets dans le rapport de l'Exposition de 1889 et dans tous les ouvrages traitant des moteurs hydrauliques.

Le pivot est disposé hors de l'eau avec arbre creux et pivot métallique, l'obturation des orifices distributeurs s'obtient par rouleaux, cônes et disques en cuir hydrofuge.

Nous trouvons ensuite une turbinette du même système de 15 kilogrammètres sous 3 mètres de chute.

MM. Royer et Joly, d'Épinal (Vosges), exposent une très belle turbine parallèle à axe vertical, d'une force de 85 chevaux, sous la chute de 1 m. 40, construite pour un débit variable de 800 à 6,000 litres par seconde.

Comme elle doit tourner dans l'eau d'aval pendant les crues, les augets sont établis de façon à ce que l'eau les remplisse complètement; c'est donc une turbine à action limite entre la réaction et la libre déviation.

L'angle de sortie des directrices est de 25 degrés; celui des aubes, de 22 degrés.

Le vannage, très ingénieux, est à clapets mécaniques du système Joly.

Un volant à main, ou un régulateur automatique de vitesse, permet d'ouvrir ou de fermer les clapets les uns après les autres, de façon à faire varier le débit à volonté.

Ce mécanisme n'a ni boulons, ni vis; on peut enlever les clapets et les remettre en place sans le secours d'aucun outil. Il présente des avantages réels sur les systèmes de vannage généralement adoptés dans les turbines parallèles, l'admission se fait sur toute la circonférence et la position des sabots de commande des clapets assure l'équilibre des efforts.

Ce vannage, breveté en 1880, avait déjà été appliqué à une turbine exposée en 1889, à Paris, par M. Royer, fondateur de la maison et a été décrit dans tous ses détails dans le rapport de cette exposition.

Le pivot est du genre Fontaine hors de l'eau avec arbre creux.

Cette turbine attire surtout l'attention par les grandes variations qu'elle peut subir dans le débit sans que le rendement soit diminué d'une façon sensible; elle est d'une construction très soignée, comme, du reste, tous les moteurs exposés par cette maison.

TURBINES POUR MOYENNES CHUTES.

Cette classe de turbines peut se diviser en :

Centripètes	pures	5 turbines.
	demi-mixtes	9
	mixtes	8
Centrifuges		6
Parallèles		5
Total		33

Turbines centripètes. — En turbines centripètes pures, nous remarquons d'abord celles de :

MM. Piccard, Pictet et Cie, à Genève (Suisse), qui présentent une turbine à axe horizontal, à réaction, développant une force de 700 chevaux sous 18 m. 40 de chute à la vitesse de 250 tours par minute.

Elle est construite pour fonctionner, en temps de crues, sous 13 m. 50 de chute seulement et pour produire, dans ces conditions, encore 500 chevaux.

Destinée à la chute du Saut-Mortier (Jura), elle sera accouplée à un alternateur de la Société des ateliers de construction d'Oerlikon et travaillera avec une aspiration d'environ 7 mètres (fig. 152).

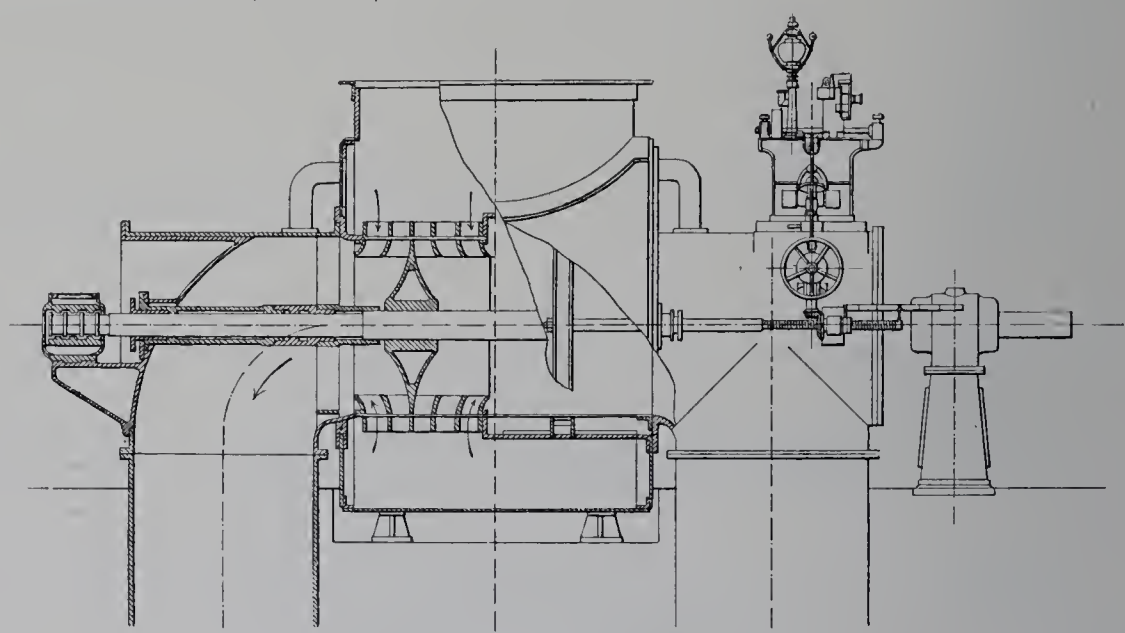


Fig. 152. — Turbine centripète double de MM. Piccard, Pictet et Cie.

Le distributeur et la roue motrice sont formés de cinq couronnes divisées en deux groupes par un disque formant moyeu; l'eau s'échappe par deux coudes de 1 m. 10 de diamètre, placés aux extrémités du moteur et prolongés par deux tubes de succion qui plongent dans l'eau d'aval.

En eaux moyennes, l'eau est admise sur quatre couronnes, deux de chaque côté du disque médian. Lorsque la chute diminue à la suite de crues, la force est maintenue constante, ou à peu près, par l'ouverture de la cinquième couronne, qui permet au moteur d'absorber un volume d'eau plus important.

L'obturation est produite par une vanne cylindrique (comme dans les turbines du genre Hercule), laquelle glisse horizontalement entre le distributeur et la roue mobile.

Cette vanne est en fer, et, comme elle est équilibrée, elle se déplace sous un effort relativement faible et se prête parfaitement à l'action du régulateur automatique.

Toute la turbine est logée dans une bâche en tôle et fonte formant chambre d'eau forcée, dans laquelle l'eau arrive par une tubulure reliée à la conduite d'amenée; des trous d'homme facilitent l'accès de la turbine pour la visite ou le nettoyage.

La vanne est actionnée, soit à la main, soit automatiquement, par deux tiges filetées qui traversent le fond de la bâche dans des presse-étoupes et sont reliées à un régulateur automatique de vitesse à déclic et servo-moteur du modèle pour vannages résistants.

L'arbre moteur traverse les coudes, également dans des presse-étoupes; ses extrémités sont maintenues par deux forts paliers autograisseurs. Le palier d'avant est monté sur un support venu de fonte avec le coude et porte trois collets de butée; celui de l'autre extrémité est fixé sur une forte chaise en fonte scellée au sol et indépendante de la turbine.

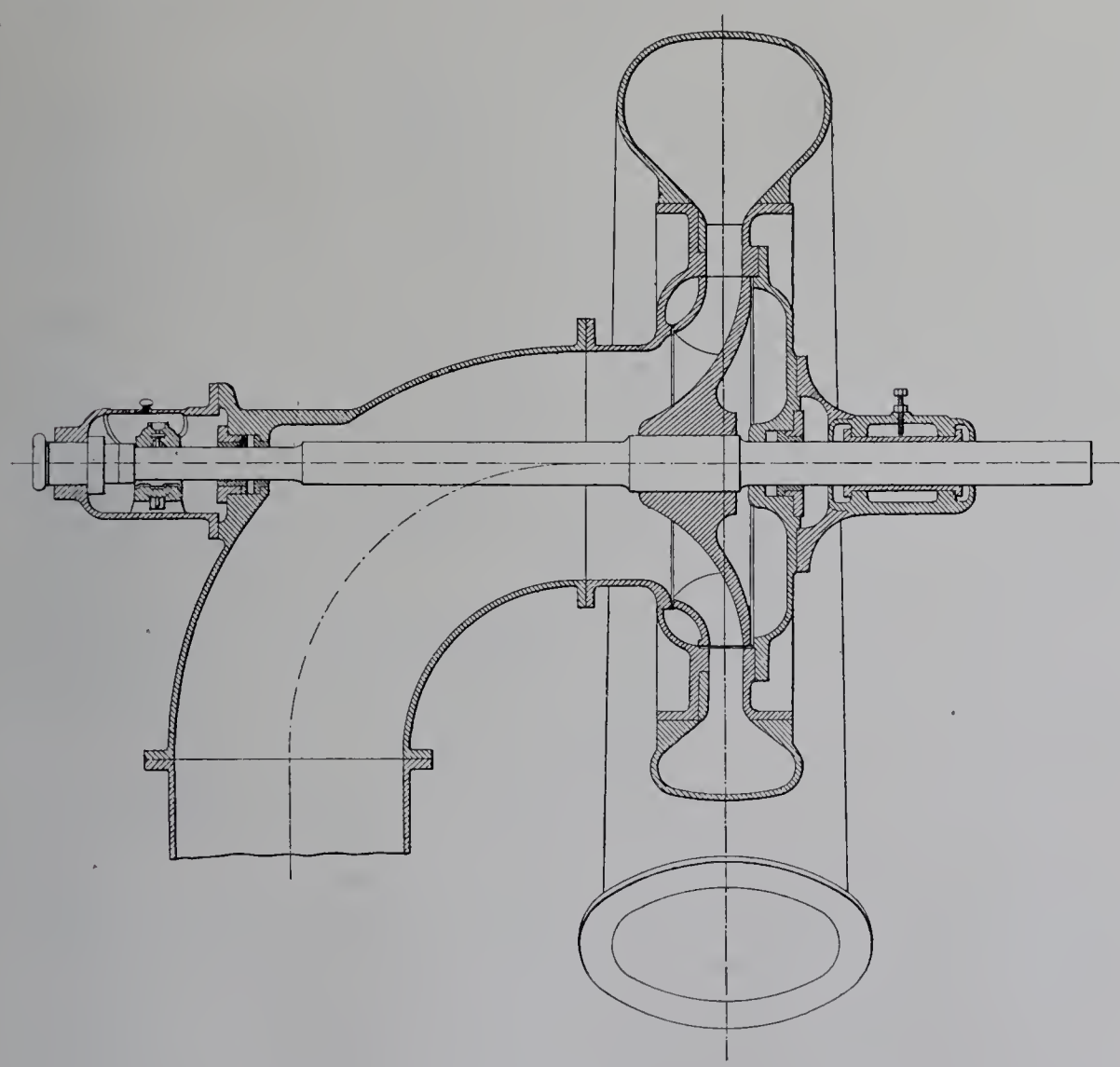


Fig. 153. — Turbine Francis de la Société Escher Wyss et Cie.

Près du disque porte-roues, l'arbre est encore maintenu par un boitard formant moyeu d'un croisillon logé dans le coude antérieur.

Les extrémités de la turbine sont mises en communication constante par un tuyau destiné à maintenir l'équilibre aussi parfait que possible de la vitesse de l'eau aux deux orifices de décharge.

Enfin un robinet placé à la partie inférieure de la bâche permet d'évacuer toute l'eau au moment de l'arrêt.

Les turbines jumelles, ou à plusieurs couronnes, comme celle que nous venons de voir, sont très répandues aujourd'hui; nous en trouverons de nombreux spécimens dans les turbines que nous examinerons plus loin. Elles permettent d'adopter, pour une force et une chute données, un diamètre plus faible que dans les turbines simples, et d'obtenir ainsi une vitesse angulaire plus grande, ce qui, dans bien des cas, et surtout dans les applications électriques, est souvent fort avantageux.

La Société Escher Wyss et Cie, de Zurich (Suisse), expose, dans cette catégorie, une turbine Francis de la force de 600 chevaux sous la chute de 43 mètres, vitesse 300 tours, destinée à la Société des Forces de la Vézère (Corrèze).

Le nom de la Société Escher Wyss et Cie est bien connu dans le monde industriel; elle a déjà obtenu un grand prix à l'Exposition universelle de Paris de 1889, mais la collection des turbines présentées en 1900 est bien plus importante que sa devancière, tant au point de vue du nombre et de la puissance des moteurs que de la nouveauté et de la variété des dispositions.

La turbine est placée dans une bâche en fonte, forme spirale, munie d'une tubulure pour l'admission de l'eau et d'un coude de décharge (fig. 153).

L'eau se répand dans la bâche calculée de manière à ce que le rapport entre la section de passage de l'eau et son volume, en un point quelconque du pourtour, reste constant sur toute la circonférence du moteur; sa vitesse d'entrée dans les orifices du distributeur est donc uniforme, les pressions sur l'aubage s'équilibrent et assurent le bon fonctionnement de la turbine.

La roue motrice a 1 m. 20 de diamètre, le vannage est du système de M. le professeur Finck, dans lequel les directrices pivotent chacune autour d'un axe logé dans des disques latéraux et reçoivent leur mouvement par un cercle concentrique mobile sur un des disques (fig. 154).

Ce cercle porte, en face de chaque directrice, une rainure dans laquelle s'engage le talon dont est munie la partie inférieure de chaque directrice.

Cette dernière est ainsi entraînée, lorsque le cercle mobile se déplace sous l'action de deux manivelles rendues solidaires par une bielle, et s'incline en réduisant la section de passage de l'eau, en l'obturant même entièrement si l'on veut arrêter la turbine.

Chaque talon est pris, à la partie inférieure, dans un coussinet qui se déplace dans une rainure du cercle mobile, lequel tourne autour de la partie fixe, lorsqu'il est manœuvré à la main par un volant qui agit sur une vis sans fin et un secteur calé sur l'arbre qui porte la manivelle inférieure, ou bien automatiquement sous l'action d'un régulateur de vitesse.

Le régulateur est à action hydraulique, analogue à celui employé pour les turbines à haute pression sur lequel nous donnerons des détails complets lorsque nous parlerons de ces appareils; sa vitesse peut être modifiée au moyen d'une vis de réglage placée sur le prolongement de la tige de la soupape de distribution.

Une autre turbine Francis, de la même maison, à axe horizontal, dans une bâche en spirale, est d'une force de 200 chevaux sous 60 mètres de chute, à la vitesse de 600 tours par minute.

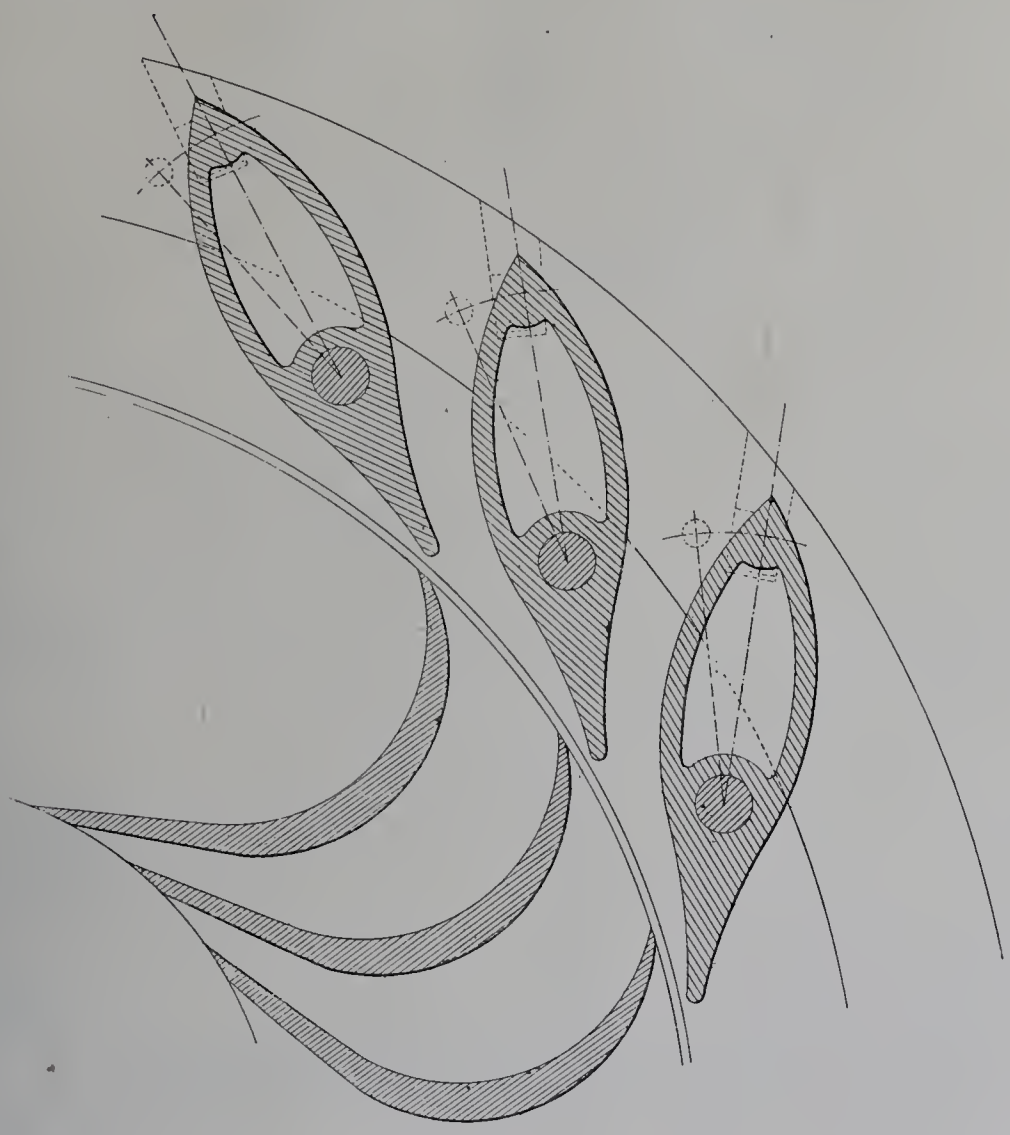


Fig. 154. — Vannage Finck.

Cette turbine est établie dans les mêmes conditions que celle que nous venons de voir, mais le vannage est du système Zodel, dans lequel le distributeur est composé de deux anneaux concentriques, l'un extérieur fixe, l'autre intérieur mobile, qui se déplace devant les orifices de la partie fixe pour rétrécir la section de passage (fig. 155).

Chaque directrice extérieure porte une palette qui se prolonge dans les vides de l'anneau mobile, de telle sorte qu'à n'importe quel degré d'ouverture, la veine liquide conserve sa direction et se trouve entièrement guidée jusqu'à sa sortie.

L'anneau mobile du distributeur reçoit son mouvement, soit à la main par un volant agissant sur un pignon qui commande une roue dentée, soit automatiquement par un régulateur servo-moteur hydraulique avec filtre perfectionné dont nous parlerons dans le chapitre des régulateurs.

Fig. 155. — Vannage Zodel, coupe horizontale.

Fig. 156. — Turbine Francis de MM. Ganz et Cie, à Budapest.

Dans la section hongroise, nous trouvons l'importante maison Ganz et Cie, de Budapest, qui présente une turbine Francis à axe horizontal pouvant développer une force de 1,000 chevaux sous 70 mètres de chute, à la vitesse de 300 tours par minute (fig. 156 et 157).

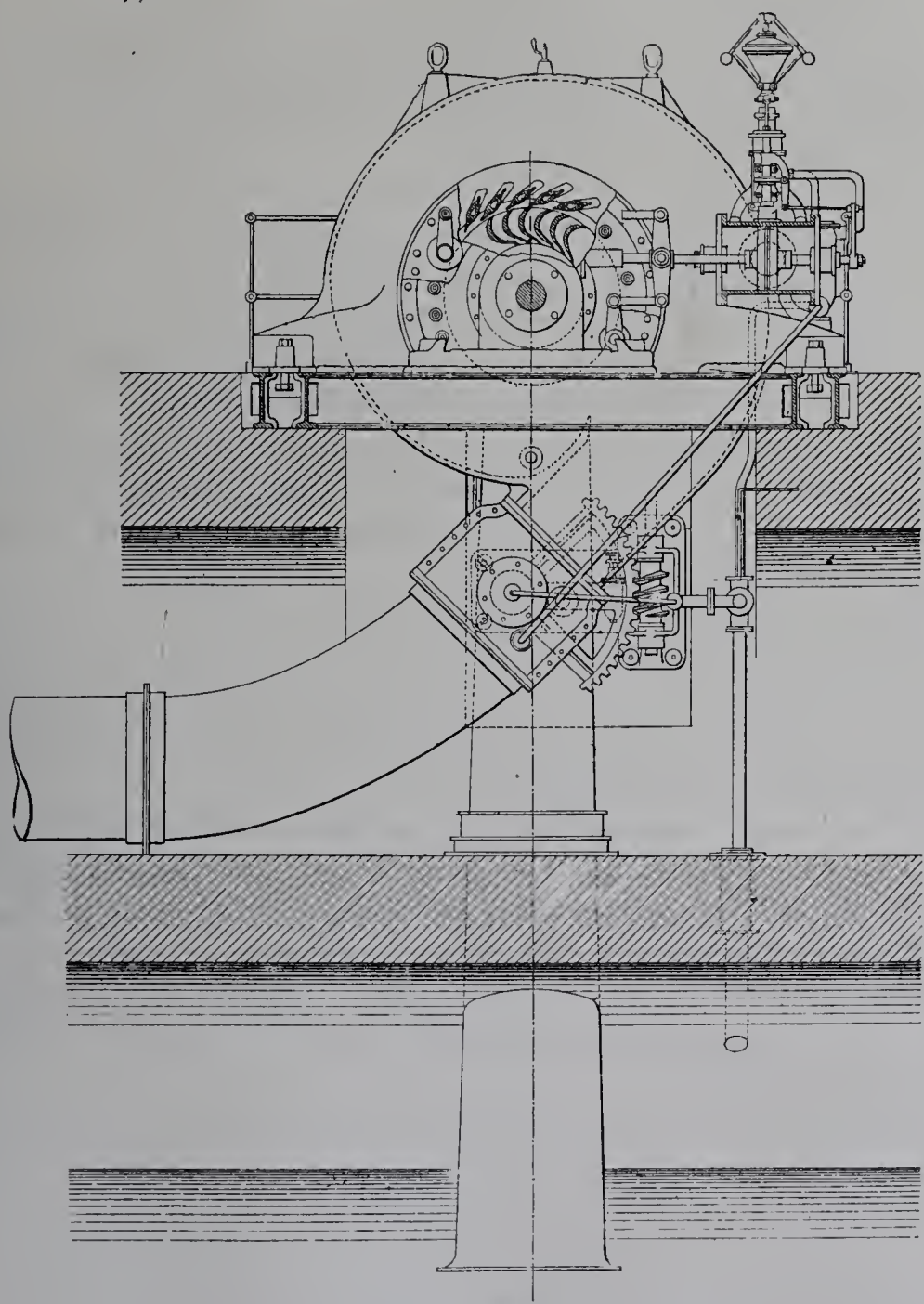


Fig. 157. — Turbine Francis de MM. Ganz et Cie, à Budapest.

Elle est placée dans une bâche en fonte, forme spirale, qui assure, comme nous l'avons vu précédemment, une vitesse uniforme de l'eau à l'entrée des directrices.

L'eau pénètre dans la bâche, à la partie inférieure, par une tubulure inclinée à environ 45 degrés sur la conduite principale, passe dans le distributeur et la roue

motrice, puis se décharge, par un coude en fonte, dans un tuyau d'aspiration qui plonge dans l'eau d'aval.

La roue motrice a 1 m. 145 de diamètre extérieur et porte 30 aubes disposées pour la réaction nulle ou limite.

Le vannage est du système Finck, que nous avons vu précédemment; sa commande est soumise à l'action d'un régulateur servo-moteur hydraulique à double effet, qui règle la section d'écoulement des orifices distributeurs; cette manœuvre peut également se faire à la main.

Le cylindre servo-moteur reçoit, à travers un filtre, la pression naturelle de la chute, qui est ainsi amenée sur l'une ou l'autre des faces du piston par un tiroir distributeur équilibré, d'une construction très ingénieuse, dont nous parlerons plus loin.

La position du piston, et par conséquent la section d'ouverture du vannage de la turbine, se trouvent sous la dépendance du pendule centrifuge; un relais mécanique relié au piston limite automatiquement les oscillations du pendule.

L'arbre moteur traverse le couvercle de la bâche et le coude d'évacuation dans des presse-étoupes; il s'appuie, par un épaulement et un écrou réglables, sur deux bagues qui tournent sur les faces extérieures des coussinets du palier d'avant et supportent la poussée longitudinale.

Le palier d'avant est fixé sur le couvercle de la bâche, celui d'arrière porte sur un fort bâti venu de fonte avec le coude; tous les deux sont à très longue portée et à graissage automatique.

L'extrémité postérieure de l'arbre reçoit un manchon élastique système Zodel pour l'accouplement direct avec une dynamo.

Enfin l'admission de l'eau dans la bâche, pour la mise en train ou l'arrêt du moteur, de même que l'isolement avec la conduite principale sont obtenus par un papillon qu'actionne, du plancher de l'usine, un volant agissant sur un secteur denté par l'intermédiaire d'une paire d'engrenages à cônes et d'une vis sans fin.

La Société anonyme des ateliers mécaniques d'Arboga (Suède) présente une turbine à axe horizontal quadruple, de 300 chevaux, sous 10 mètres de chute, vitesse 250 tours par minute (fig. 158).

Les quatre couronnes, de 0 m. 70 de diamètre, reçoivent l'eau par trois tubulures et la déchargent dans deux tuyaux d'aspiration.

Les vannes sont à tiroir circulaire, formé d'un cylindre mobile autour du distributeur, dans lequel sont ménagés autant d'orifices qu'il y a de canaux directeurs.

La rotation du cylindre, sous l'action d'un secteur denté, amène les parties pleines devant les vides des canaux, obstrue le passage ou le ferme entièrement lorsque le recouvrement est complet.

Ce système de vanne est déjà appliqué à la turbine américaine *Victor;* nous la retrouverons aussi dans une turbine mixte à axe horizontal, de la maison Singrün frères, d'Épinal.

Trois vannes sont reliées à un régulateur servo-moteur de vitesse; la quatrième se règle à la main.

La partie inférieure des tuyaux d'aspiration est fortement évasée; l'échappement est facilité par un cône en fonte.

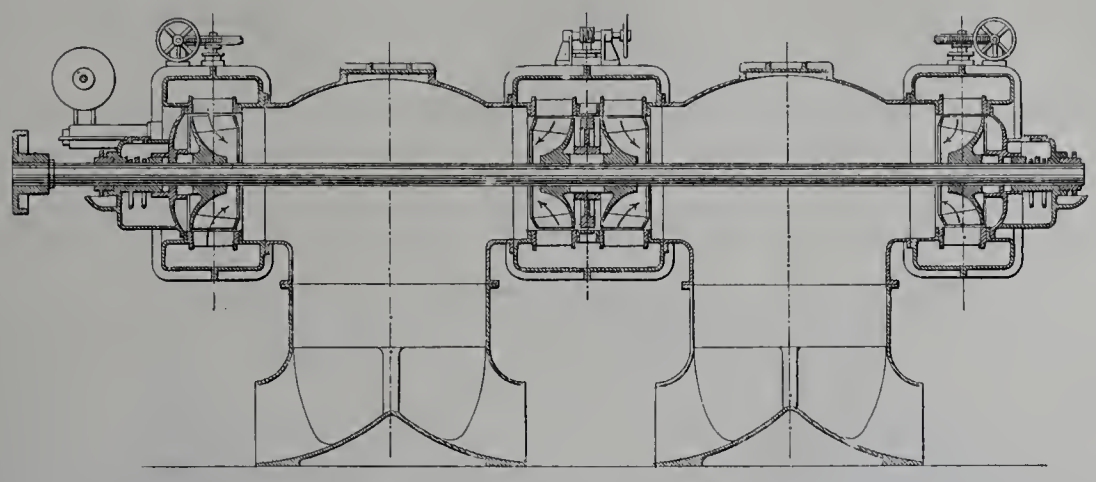


Fig. 158. — Turbine centripète de la Société des ateliers mécaniques d'Arboga (Suède).

Cette turbine actionne directement une dynamo placée sur le prolongement de l'arbre moteur; l'accouplement est établi au moyen d'un manchon élastique à disque en cuir serré par des boulons entre des plateaux en fonte.

Ce système d'accouplement nous paraît intéressant et devoir donner de bons résultats.

Turbines centripètes demi-mixtes. — Le premier moteur de cette catégorie qui attire notre attention est du système Francis, à aubage demi-mixte, de la Société Escher Wyss et Cie, de Zurich (Suisse) [fig. 159].

La turbine est à axe horizontal, jumelle, développant une force de 2,500 chevaux sous la chute de 11 m. 60, à la vitesse de 150 tours par minute.

Elle se compose de deux roues motrices, de 1 m. 76 de diamètre, calées sur un arbre unique, dont l'une des extrémités reçoit un manchon pour l'accouplement direct avec un alternateur.

Les 20 aubes de chaque roue mobile reçoivent l'eau par deux distributeurs de 22 directrices chacun, montés de chaque côté d'un collecteur tronconique central.

Les poussées longitudinales sur l'arbre, étant de sens opposés, s'équilibrent; le pivot si délicat des turbines simples peut être supprimé ou du moins ne supporte plus de charge importante et ne risque pas d'échauffement.

Le vannage est du système Zodel, commandé à la main et relié à un régulateur à pression d'huile, système breveté.

L'ensemble de la turbine se place au fond d'une chambre d'eau ouverte dans laquelle l'eau pénètre par un canal à ciel ouvert, passe à travers les couronnes directrices sur l'aubage mobile, puis se décharge dans le collecteur central, d'où elle s'échappe dans le canal de fuite par un tube de succion. La turbine fonctionne ainsi par pression sur une partie de la chute, par aspiration sur l'autre partie.

Le distributeur d'avant porte une bride qui s'encastre et est scellée dans le mur de retenue de la chambre d'eau qui sépare la turbine de l'usine; le disque en fonte qui le

recouvre, et dans lequel passe l'arbre moteur, supporte un fort palier à graissage automatique.

A l'arrière, l'arbre traverse un boitard venu de fonte avec le couvercle, dont la partie centrale est isolée elle-même de l'action de l'eau par une cloche étanche.

Une série de tuyaux assure le graissage des différentes parties de l'appareil.

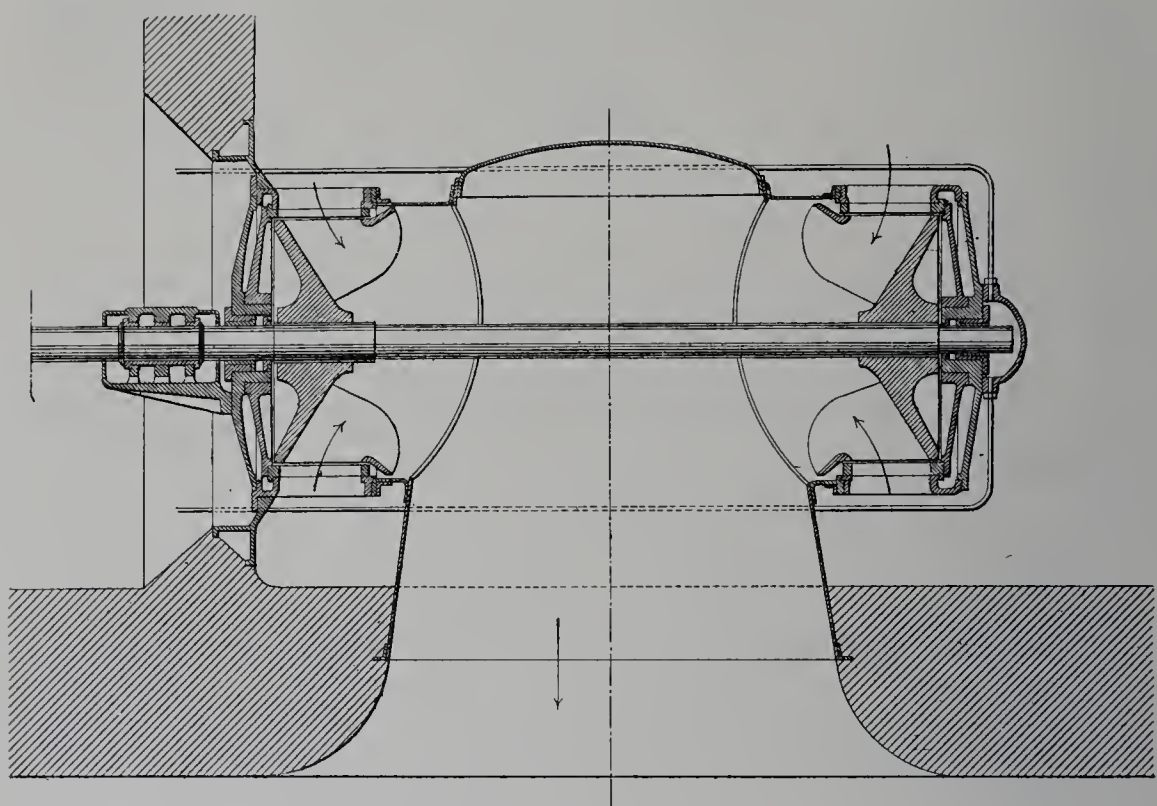


Fig. 159. — Turbine centripète demi-mixte de 2,500 chevaux de la Société Escher Wyss et Cie.

Nous trouvons dans cette turbine, destinée aux usines Isarwerk, à Munich, une intéressante application de moteur multiple; la puissance est considérable, la vitesse très grande et particulièrement favorable pour l'établissement à bon compte de générateurs d'électricité aussi importants.

Nous trouvons ensuite, de cette même maison, une turbine Francis à axe horizontal de 1,000 chevaux, sous la chute de 32 mètres, à la vitesse de 300 tours par minute (fig. 160).

Cette turbine est placée dans une bâche en fonte en forme de spirale, munie d'une tubulure d'admission de l'eau et d'un coude de décharge.

Le vannage est du système Zodel, comme dans la turbine précédente. Il est actionné à la main et relié à un régulateur servo-moteur hydraulique alimenté par de l'huile que fournit une pompe actionnée par une petite turbine spéciale.

La distribution de l'huile sur le piston servo-moteur, au lieu d'être sous la dépendance d'un pendule centrifuge, comme dans la plupart des installations, est réglée par un appareil spécial mû par l'électricité, lequel agit simultanément sur les six turbines du groupe dont ce moteur fait partie. Cette installation est destinée à l'usine électrique

de Saint-Maurice (Wallis) qui devra distribuer la force et la lumière à Lausanne et dans ses environs.

Après avoir agi sur l'aubage, l'eau se décharge dans le coude, d'où elle est évacuée dans le canal de fuite par un tube de succion.

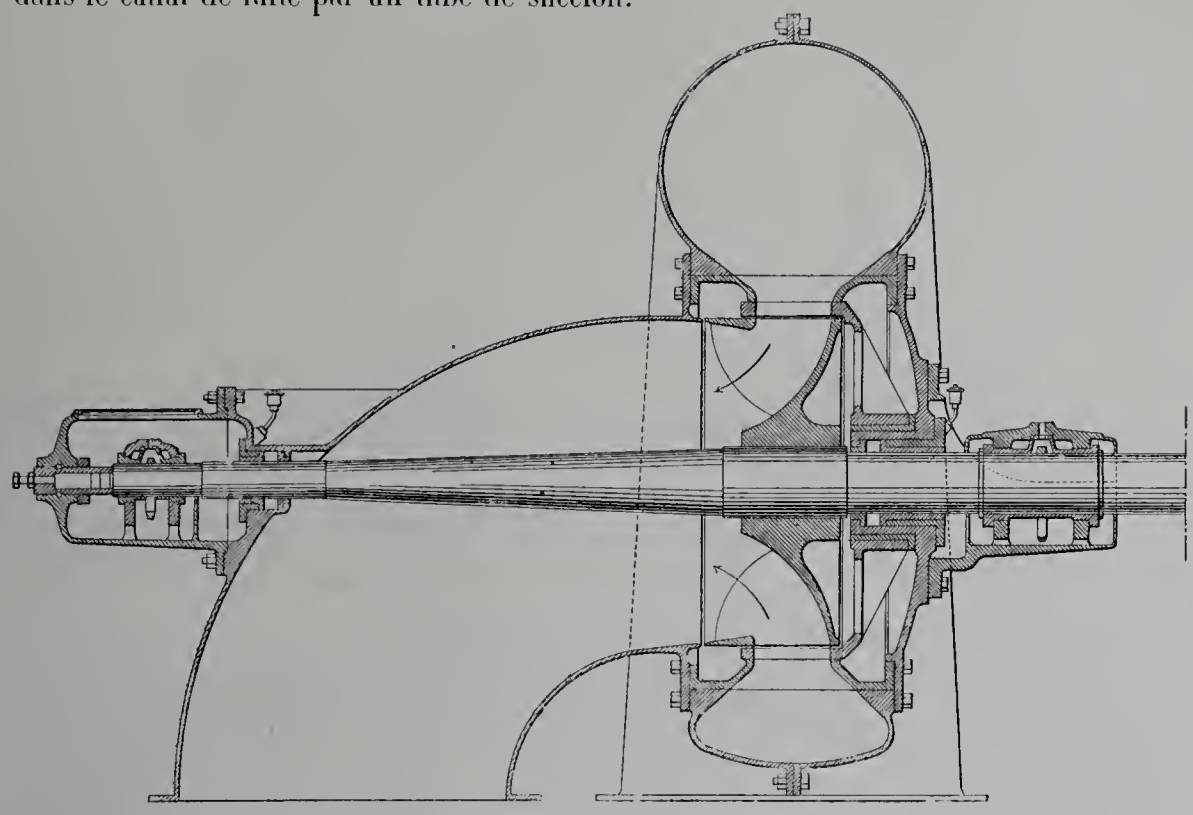


Fig. 160. — Turbine Francis de 1,000 chevaux de la Société Escher Wyss et Cie.

L'arbre moteur traverse le coude dans un presse-étoupe; son extrémité porte dans un boitard à graissage automatique. L'extrémité avant est solidement maintenue par un palier, automatique également, fixé contre le disque en fonte qui ferme la partie antérieure de la bâche et porte un manchon élastique système Zodel pour la commande directe d'un générateur d'électricité de la Compagnie de l'industrie électrique de Genève.

La Société Escher Wyss et Cie expose encore un hydrophore composé d'une turbine centripète Francis à aubage demi-mixte, vanne Zodel, réglage à la main, recevant l'eau par un tuyau alimenté par une pompe centrifuge qu'actionne une dynamo.

Des cloisons en tôle, placées entre les deux tuyaux verticaux de l'appareil, sont disposées de manière à pouvoir faire, dans d'excellentes conditions, des mesurages de l'eau absorbée par la turbine, et, par conséquent, des essais pratiques de rendement du plus haut intérêt.

Il est fort regrettable que le Jury international n'ait pu disposer du temps matériel nécessaire pour entreprendre ces expériences, de nature à établir aux yeux de tous la valeur des turbines modernes, et que, d'un autre côté, l'alimentation de l'appareil n'ait jamais pu être bien assurée par le Service général des eaux.

La Société des ateliers Théo. Bell et Cie, à Kriens (Suisse), à laquelle nous passons

maintenant, nous montre d'abord une turbine centripète à axe vertical et triple couronne, aubage demi-mixte, construite pour une chute pouvant varier de 5 m. 70 à 3 m. 80 avec une puissance de 1.000 chevaux et une vitesse de 68 tours, même par la chute la plus basse.

Elle portera, directement fixée sur le prolongement de l'arbre moteur, une dynamo de même puissance, marchant, par conséquent, à la même vitesse, et fait partie d'une installation de huit turbines pour la Société d'électricité *Motor*, à Betznau (Suisse) [fig. 161].

La turbine se compose de trois couronnes mobiles superposées, avec leurs distributeurs, formant un moteur à trois étages.

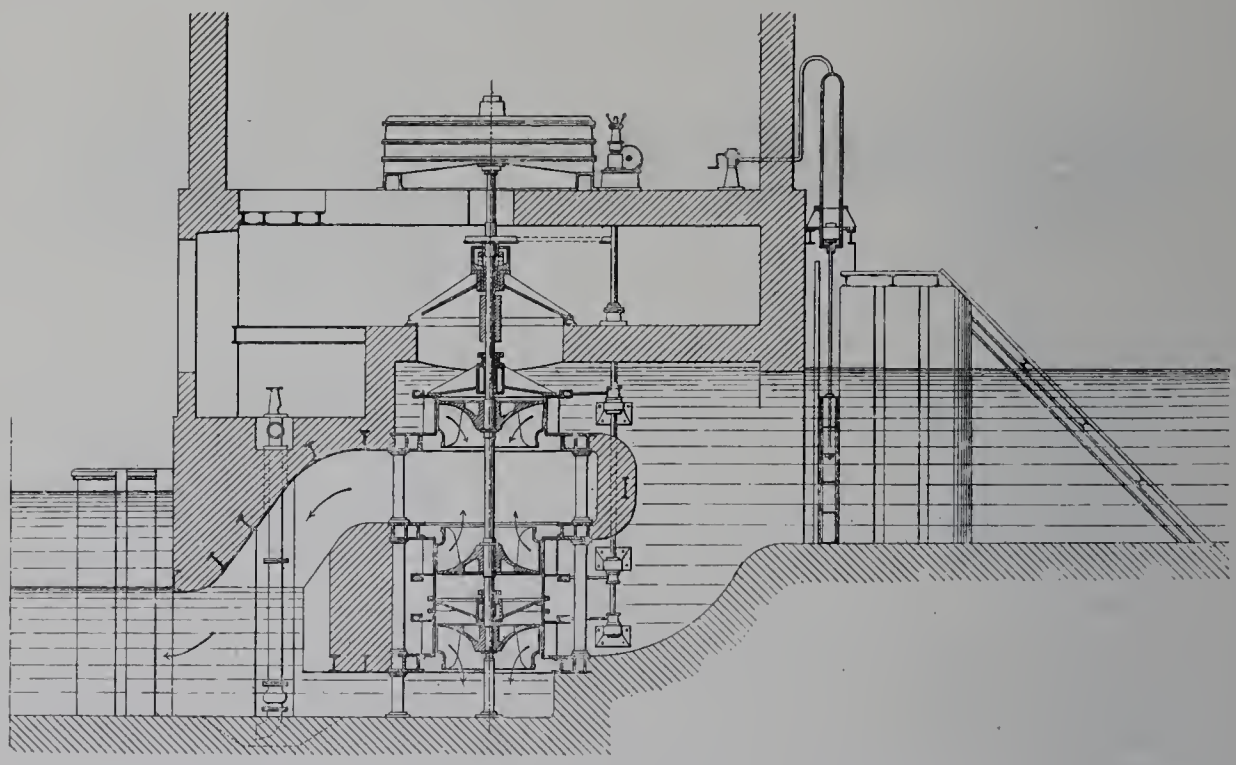


Fig. 161. — Turbine de 1,000 chevaux, à triple couronne, de la Société Bell et Cie.

Les couronnes fixes sont munies du réglage à vannettes, système Schaad, dans lequel l'angle d'entrée de l'eau varie en sens inverse du degré d'ouverture de la vanne et le met sensiblement en rapport avec les différentes hauteurs de chute, permettant ainsi de maintenir la vitesse à peu près constante malgré de grandes variations de chutes (fig. 162).

L'obturation est obtenue par le déplacement de couronnes circulaires reposant sur billes, reliées au mécanisme de commande du vannage, de même qu'au régulateur automatique de vitesse, par des bielles qui impriment un mouvement de rotation aux vannettes logées dans l'épaisseur des directrices fixes, et mobiles autour de leur axe.

Les articulations sont toutes garnies de bronze.

Les mécanismes de manœuvre des trois couronnes de la turbine sont réunis par un arbre vertical commun pouvant être actionné à la main, mais soumis également à l'action

d'un régulateur servo-moteur à piston différentiel et pression d'huile dont nous parlerons plus loin.

Le poids d'environ 50,000 kilogrammes que supporte l'arbre vertical est soulagé par la pression naturelle de l'eau sur la face inférieure de la roue mobile de la turbine du milieu; le pivot n'a donc qu'une charge toute normale à supporter et n'exige aucune précaution particulière d'établissement ni d'entretien.

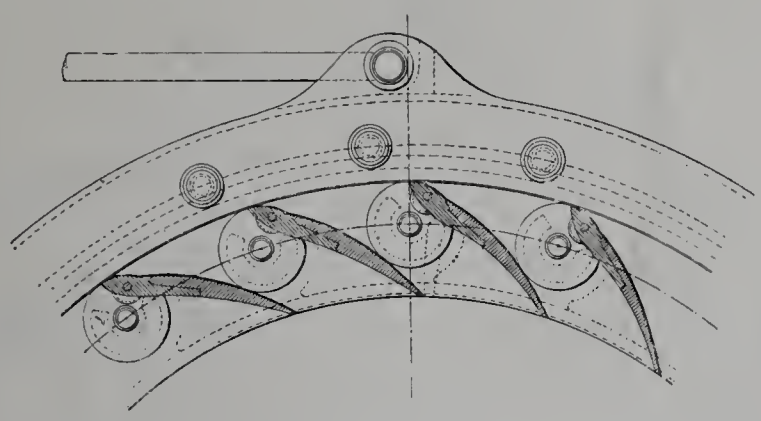


Fig. 162. — Vannage Schaad.

A cet effet les roues mobiles inférieures sont séparées par une cloison étanche sur laquelle la pression de l'eau prend appui, et qui porte un boitard pouvant être graissé. La couronne circulaire en fonte qui relie les deux turbines du bas est en plusieurs pièces, rendant le démontage des organes intérieurs facile, sans avoir à toucher à l'ensemble du moteur.

Les grandes dimensions de cette turbine et l'agencement rationnel de ses organes, de même que sa belle exécution, sont à signaler; elle a vivement intéressé le Jury international et a été beaucoup remarquée par le public.

L'accouplement direct des turbines à axe vertical avec les générateurs d'électricité est certainement la solution la plus simple, la moins encombrante et souvent aussi la plus économique de la transformation de l'énergie hydraulique; aussi se généralise-t-elle dans toutes les applications où la hauteur de chute et la disposition des lieux permettent de l'adopter.

Pour augmenter la vitesse de régime, lorsque la chute est faible ou moyenne, on a recours, comme dans les turbines à axe horizontal, à la multiplication des couronnes directrices et réceptrices sur un arbre unique, et on arrive, comme dans la turbine que nous venons de voir, à une puissance considérable sous des chutes relativement peu importantes.

Nous passons maintenant à une autre turbine de la même maison, à axe horizontal et quadruple couronne, devant se placer dans une chambre d'eau ouverte (fig. 164).

La chute est de 10 mètres, la force de 300 chevaux et la vitesse de 300 tours par minute.

Les quatre roues mobiles, de 0 m. 500 de diamètre, sont calées sur un arbre moteur unique et portent chacune quinze aubes du modèle demi-mixte.

Les deux roues du milieu sont adossées l'une à l'autre et ont un distributeur commun; celles des extrémités ont chacune leur couronne directrice.

L'évacuation se fait par deux conduites en fonte en communication avec des aspirateurs en béton.

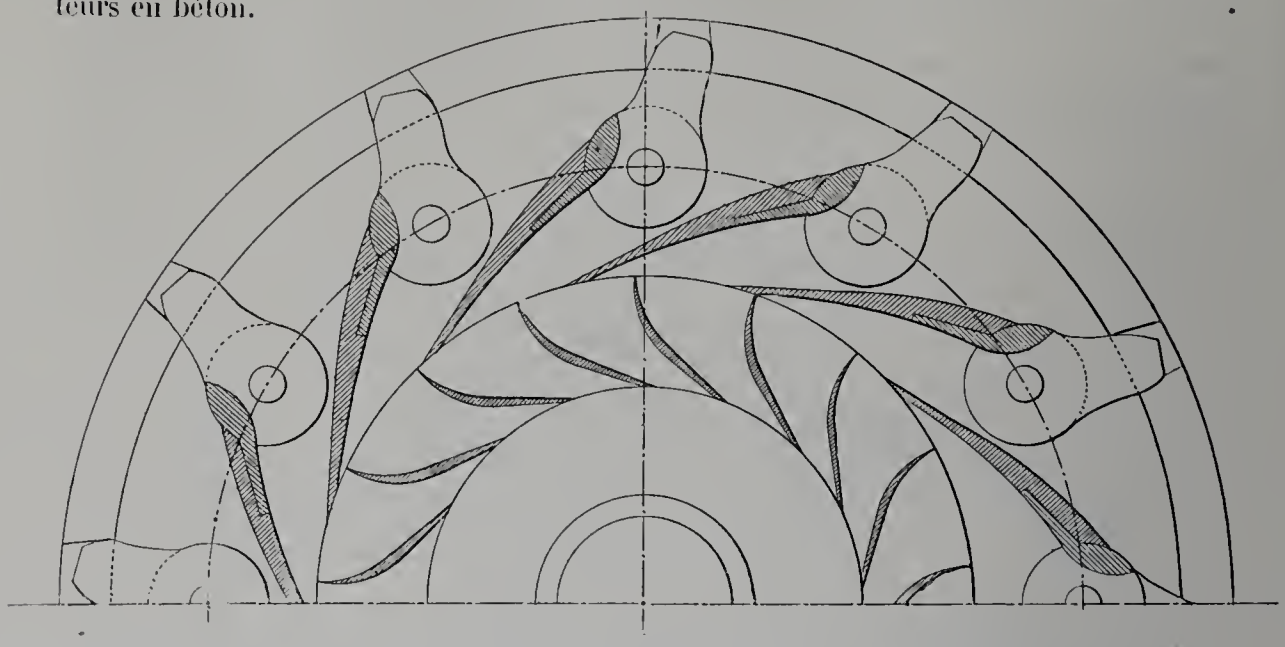


Fig. 163. — Vannage Schaad.

Le vannage est du système Schaad agissant, soit simultanément, soit séparément, sur les trois distributeurs munis chacun de douze directrices, mais les bielles de la turbine précédente sont remplacées par des cames qui s'engagent dans des boîtes fixées à l'anneau mobile par des boulons (fig. 163).

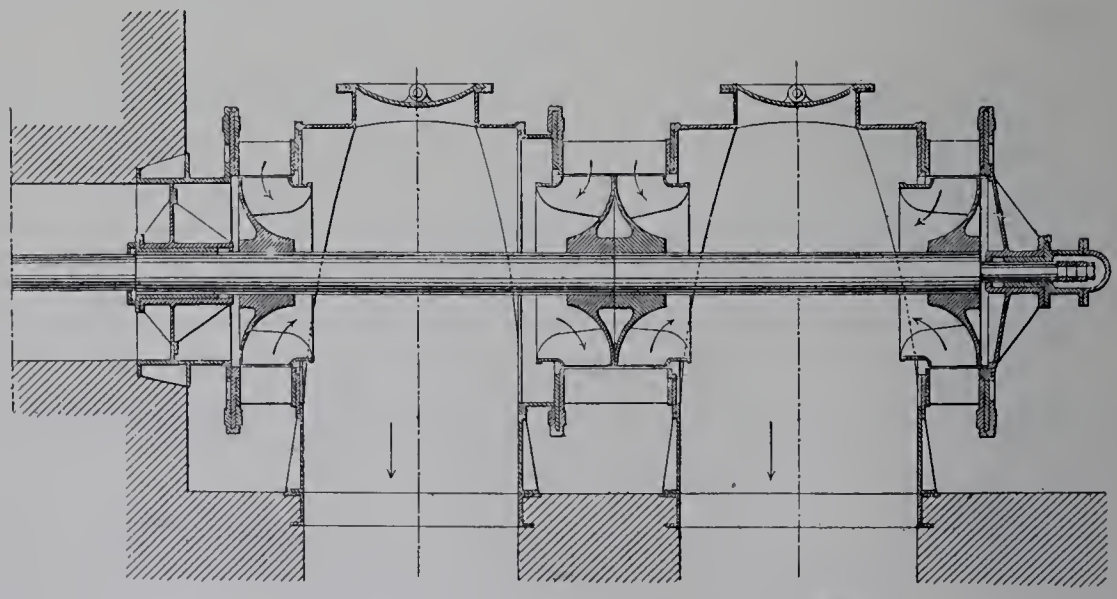


Fig. 164. — Turbine, à quadruple couronne, de la Société Bell et Cie.

Sous l'action d'une vis sans fin, agissant sur un arbre qui relie les trois anneaux par l'intermédiaire de bielles extérieures, les anneaux mobiles tournent sur les couronnes fixes et produisent l'ouverture ou la fermeture des orifices d'admission; ce mouvement

est facilité par l'interposition de billes, et se fait à la main, mais il peut également être obtenu par un régulateur.

L'arbre s'appuie, dans le sens longitudinal, par un épaulement et un écrou réglable, sur deux bagues libres et un couvercle fixe; l'extrémité opposée traverse le mur de retenue de la chambre d'eau dans un boitard spécial à l'abri de l'eau.

Tous les organes de réglage sont soigneusement guidés, chaque vannette est facilement démontable sans déranger le réglage de ses voisines.

Comme toutes les turbines à couronnes multiples, ce moteur convient tout spécialement à la commande directe d'une dynamo.

Enfin nous remarquons une turbine du même modèle que la précédente, à axe horizontal, de 0 m. 60 de diamètre dans une bâche en fonte formant chambre d'eau forcée en spirale.

L'eau pénètre dans la bâche par une tubulure et se décharge, de chaque côté, dans un coude en communication avec un aspirateur en béton. Cette turbine est à double couronne.

L'arbre moteur traverse les coudes dans des presse-étoupes et porte sur des paliers fixés sur de forts supports en fonte formant corps avec le bâti (fig. 165).

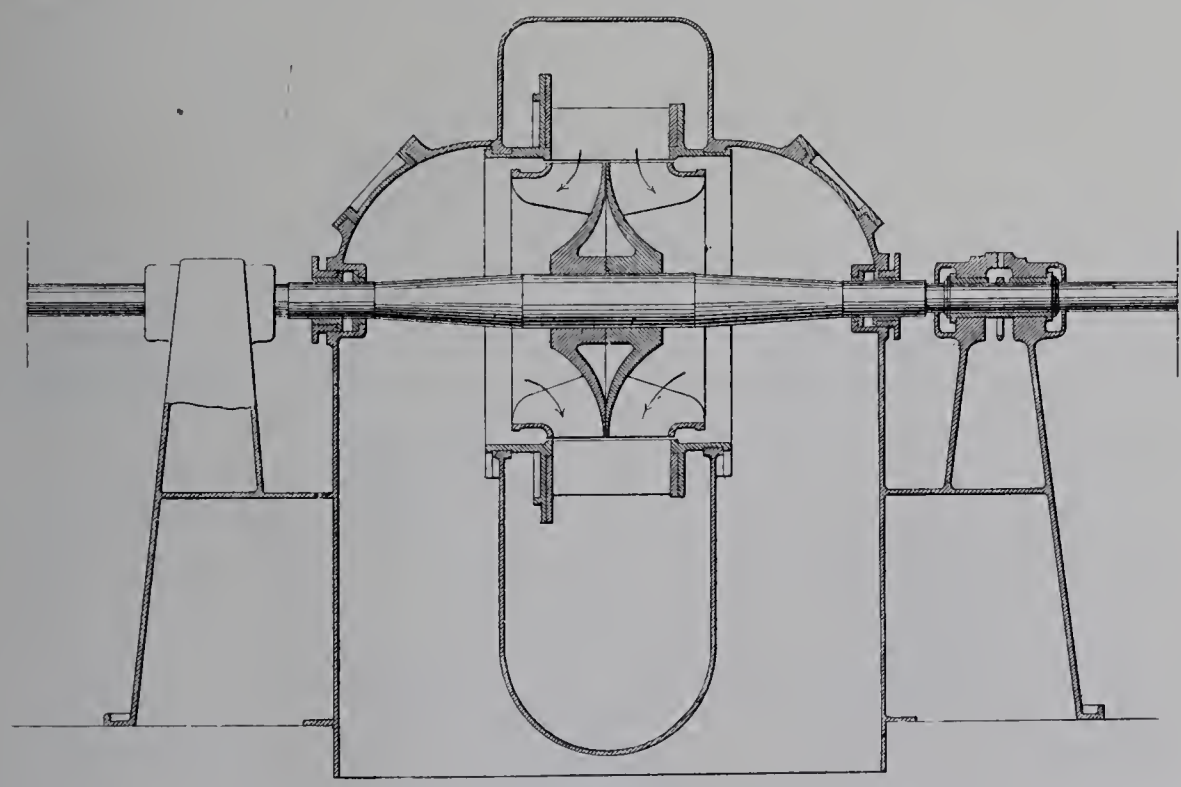


Fig. 165. — Turbine à double couronne, de la Société Bell et Cie.

Les paliers sont à graissage automatique par bagues.

Le vannage, également du système Schaad, se manœuvre soit à la main au moyen d'un volant agissant par vis sans fin sur un arbre coudé qui commande des bielles reliées aux leviers de l'anneau mobile, soit automatiquement par l'intermédiaire d'un régulateur servo-moteur mécanique par cliquets actionnant un système d'engrenages

IMPRIMERIE NATIONALE.

différentiels qui impriment à l'arbre du vannage un mouvement de rotation dans le sens que sollicite le pendule.

La Société anonyme Jacob Rieter et Cie, à Winterthur (Suisse), présente deux turbines demi-mixtes.

La première est du type à axe horizontal double pour chambre d'eau ouverte et développe une force de 41 chevaux sous la chute de 4 mètres à la vitesse de 180 tours par minute.

L'eau, arrivant par un canal à ciel ouvert, passe dans les couronnes fixe et mobile et se décharge, au centre, dans un tube de succion.

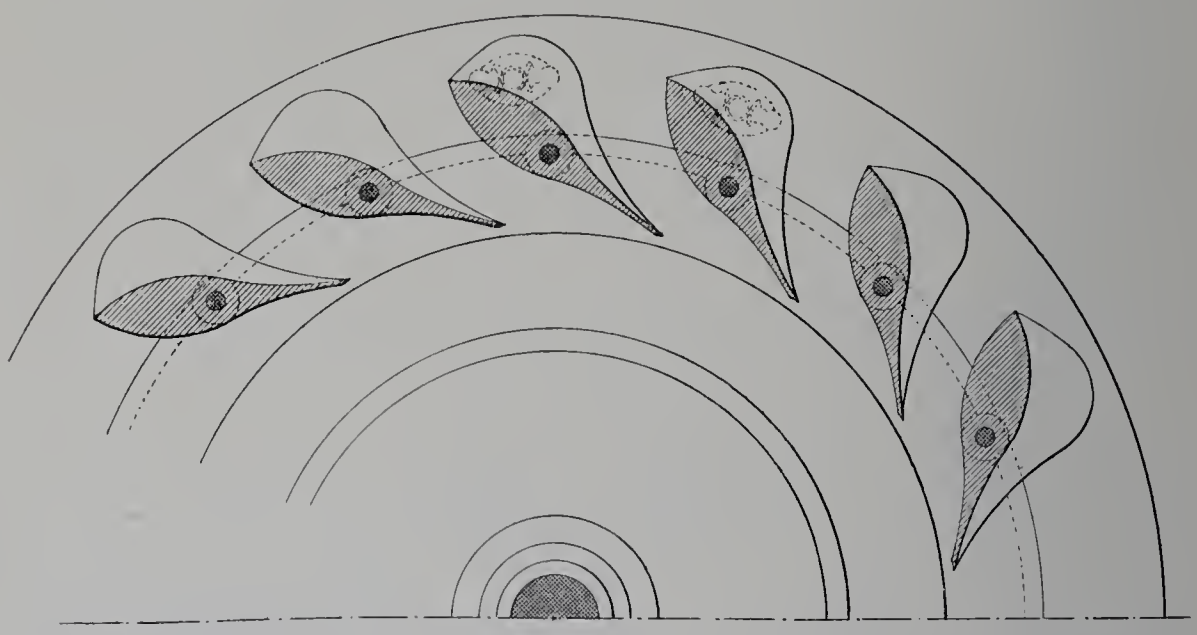


Fig. 166. — Turbine Francis de la Société Rieter et Cie (coupe horizontale par le distributeur).

Le vannage est du genre Finck dans lequel les directrices du distributeur tournent sur elles-mêmes, sous l'action du mouvement de rotation d'un cercle annulaire, sur un des disques de la couronne (fig. 166).

Nous avons déjà vu ce vannage adopté par d'autres exposants et la seule particularité qui caractérise ici son application consiste dans le moyen employé pour réduire le frottement dans le mouvement de rotation des directrices.

Chaque directrice porte une douille dans laquelle est ménagée une cavité où vient s'engager un goujon correspondant, fixé au cercle annulaire.

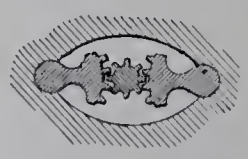


Fig. 167. — Mécanisme de rotation des directrices de la turbine Rieter.

Ce goujon, au lieu de glisser dans un coulisseau, comme dans d'autres turbines, est pris entre deux pièces de bronze, et porte lui-même un petit secteur denté qui engrène avec un second secteur mobile (fig. 167).

Cette disposition diminue le frottement de la manœuvre du vannage et nous sommes portés à croire qu'elle donne de bons résultats.

Les cercles annulaires reçoivent leur mouvement par des manivelles reliées à des bielles placées à l'extérieur et commandées par une vis sur laquelle on peut agir à la main au moyen d'un volant, ou bien par l'intermédiaire d'un régulateur de vitesse, simultanément sur les deux couronnes motrices, ou sur chacune séparément.

L'arbre moteur traverse le couvercle d'avant de la turbine dans un presse-étoupe, ses extrémités portent sur des paliers en anti-friction.

L'enveloppe qui réunit les deux moteurs au tube de succion porte un trou d'homme qui permet la visite intérieure du système.

La deuxième turbine présentée par cette maison est du genre Francis simple, à axe horizontal, à bâche fermée en fonte, modèle en spirale formant bâti, comme nous l'avons déjà rencontré chez d'autres exposants (fig. 168).

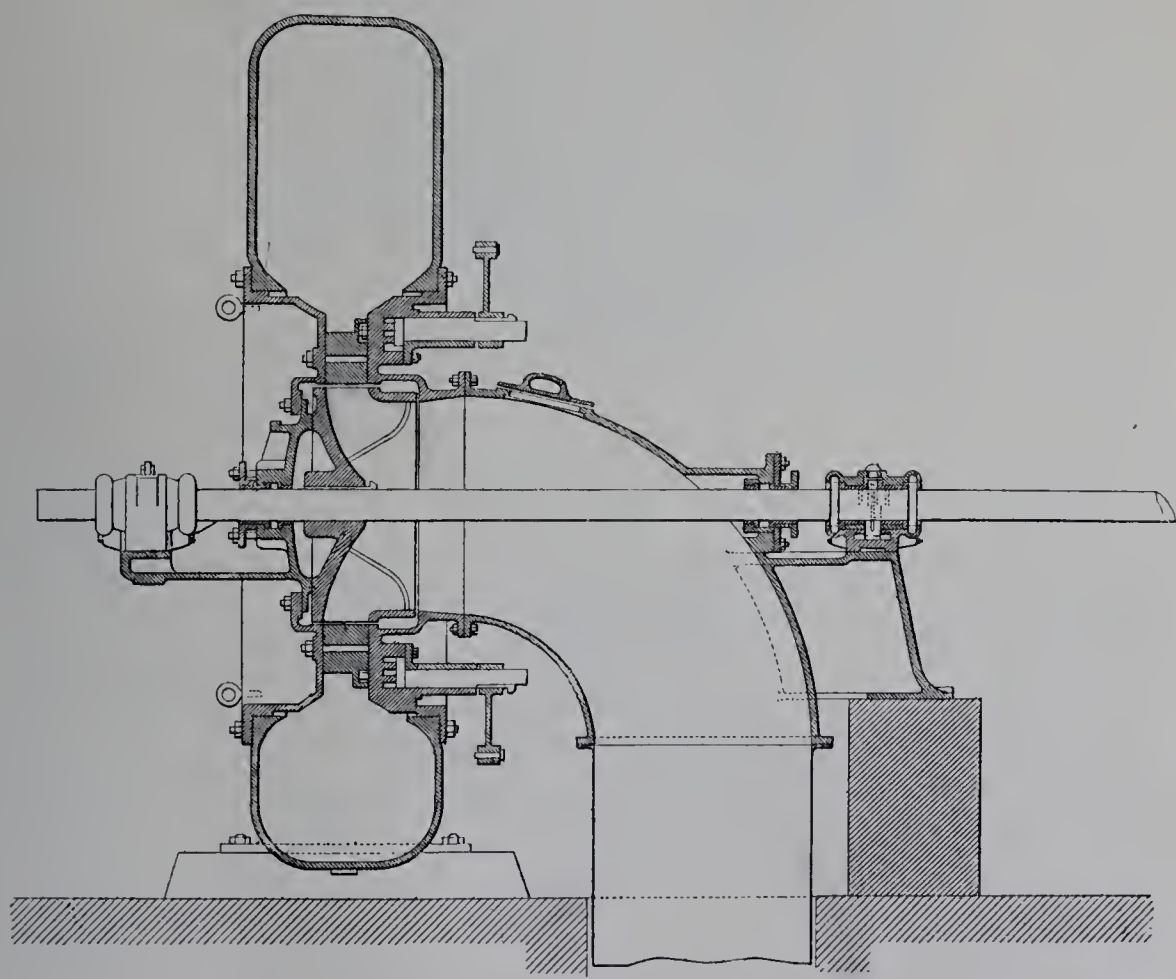


Fig. 168. — Turbine à axe horizontal simple de la Société Rieter et Cie.

Elle est établie pour développer une force de 38 chevaux sous la chute de 7 mètres à la vitesse de 260 tours par minute.

La roue motrice a 0 m. 55 de diamètre et porte 13 aubes.

L'eau arrive dans la bâche par une tubulure placée à la partie supérieure et s'évacue par un coude relié à un tube de succion.

Le vannage est du système Finck, avec la même disposition que dans la turbine précédente; nous n'y reviendrons donc pas.

La face avant de la bâche est fermée par un disque en fonte démontable, dans lequel s'engagent les tourillons des directrices; il permet la visite intérieure et le nettoyage de tous les organes de la turbine.

L'arbre moteur traverse la paroi de la bâche dans un presse-étoupes; du côté du coude un autre presse-étoupes assure l'étanchéité dans le tube de succion.

Les deux extrémités sont maintenues dans des paliers autograisseurs à bagues.

Comme dans la turbine précédente la manœuvre du vannage se fait soit à la main au moyen d'un volant, soit par l'intermédiaire d'un régulateur automatique.

Nous terminerons l'examen des turbines demi-mixtes par une turbine des Usines réunies de la Société Danubius Schonichen Hartmann, de Budapest (Hongrie).

Cette turbine est encore à axe horizontal pour chambre d'eau ouverte, du même genre que celles que nous avons déjà vues.

Sa force est de 50 chevaux sous 10 mètres de chute, et sa vitesse, de 330 tours par minute.

Le vannage est du système Finck, à directrices tournantes; le travail est parfaitement soigné, mais le moteur ne présente aucune particularité ou avantage sur les turbines du même genre que nous venons de voir; nous ne nous attarderons donc pas à la décrire plus longuement.

Une roue motrice de turbine centripète demi-mixte est exposée par cette maison comme pièce détachée.

Turbines mixtes. — Les turbines centripètes mixtes pour chutes moyennes sont au nombre de huit.

Quatre sont exposées par MM. Singrün frères, d'Épinal. Elles comprennent deux turbines à axe vertical et deux turbines à axe horizontal.

La première à axe vertical est de la force de 100 chevaux sous 19 mètres de chute, avec 765 tours par minute (fig. 169).

Elle est logée dans une bâche ou buche en fonte et tôle d'acier de 1 m. 10 de diamètre et de 1 mètre de hauteur, portant une tubulure de 0 m. 75 de diamètre pour le raccordement avec la conduite d'amenée de l'eau.

La turbine est du modèle Hercule-Progrès, breveté s. g. d. g.; l'aubage est en bronze du système breveté également.

Elle porte quatorze directrices et dix aubes, la section de sortie de l'eau du distributeur est de 0 m. q. 05, l'angle d'entrée sur l'aubage, de 14 degrés, et l'angle de sortie de la roue mobile, de 15 degrés.

Cette turbine est établie pour recevoir, directement accouplée à l'extrémité de l'arbre moteur, une dynamo à axe vertical de même force et de même vitesse de régime que la turbine.

En raison de la surcharge qu'impose au pivot le poids de la partie mobile de la

dynamo, ce poids est équilibré par un compensateur hydraulique logé dans la partie inférieure du couvercle de la buche.

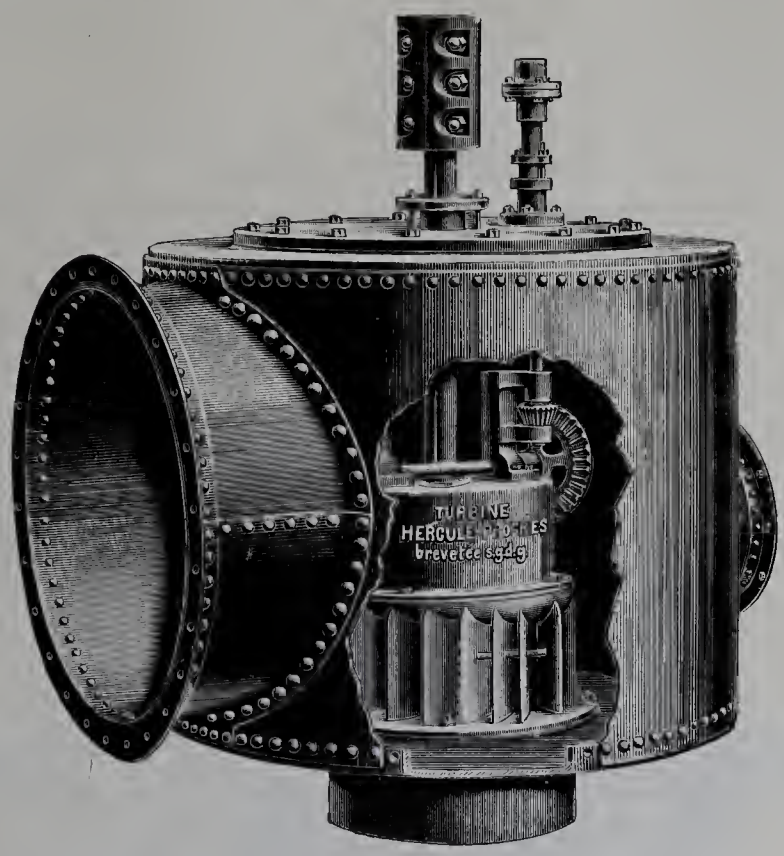


Fig. 169. — Turbine Hercule-Progrès dans sa chambre d'eau métallique.

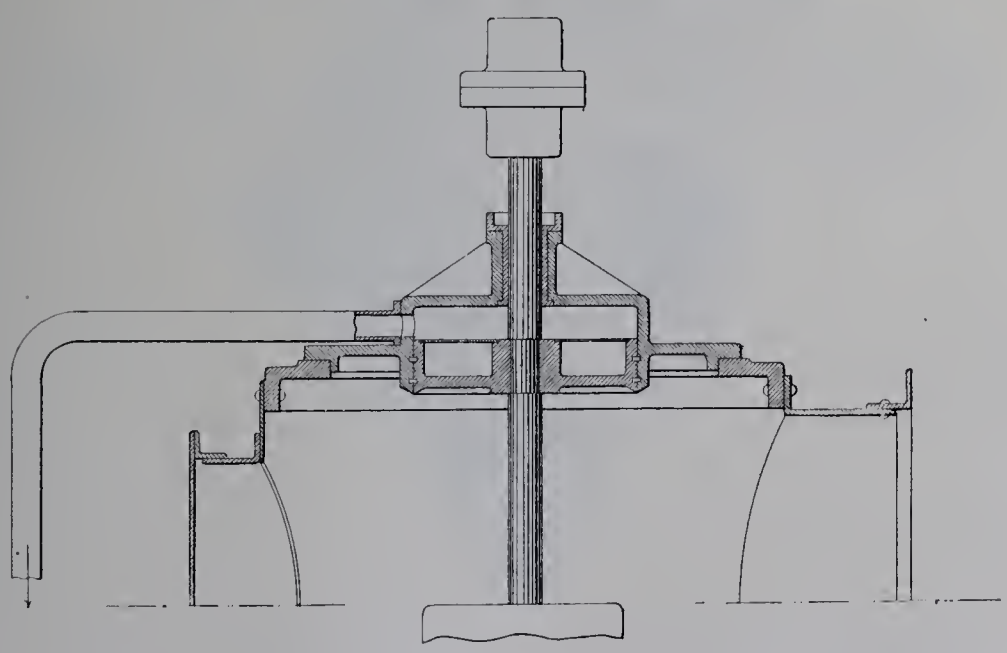


Fig. 170. — Compensateur hydraulique pour turbine Hercule-Progrès.

Ce compensateur se compose d'une cuvette cylindrique dans laquelle tourne à frottement doux un piston soumis, sur sa face inférieure, à la pression naturelle de l'eau due à la hauteur de la chute, la face supérieure étant en communication avec l'atmosphère

par un tuyau de décharge qui évacue l'eau qui pourrait s'échapper par le faible jeu qui existe autour du piston (fig. 170).

Le pivot se trouve ainsi déchargé de tout ou partie du poids qu'il supporte et n'exige aucune précaution spéciale dans sa construction.

Cette disposition est, nous l'avons déjà dit, la plus rationnelle pour la commande des générateurs d'électricité, mais elle n'est devenue pratique que grâce aux turbines à grande vitesse et à grand rendement, bien étudiées et convenablement disposées.

Dans cet ordre d'idées, MM. Singrün frères placent sous nos yeux les dessins détaillés d'une installation de ce genre, d'une force totale de 5,500 chevaux, qu'ils ont en mains actuellement, répartis sur 7 moteurs, lesquels ont pu être largement logés dans une construction de 44 mètres de longueur sur 11 mètres de largeur.

Nous passons maintenant à l'installation complète d'une turbine Hercule-Progrès à axe vertical de 25 chevaux sous 11 mètres de chute.

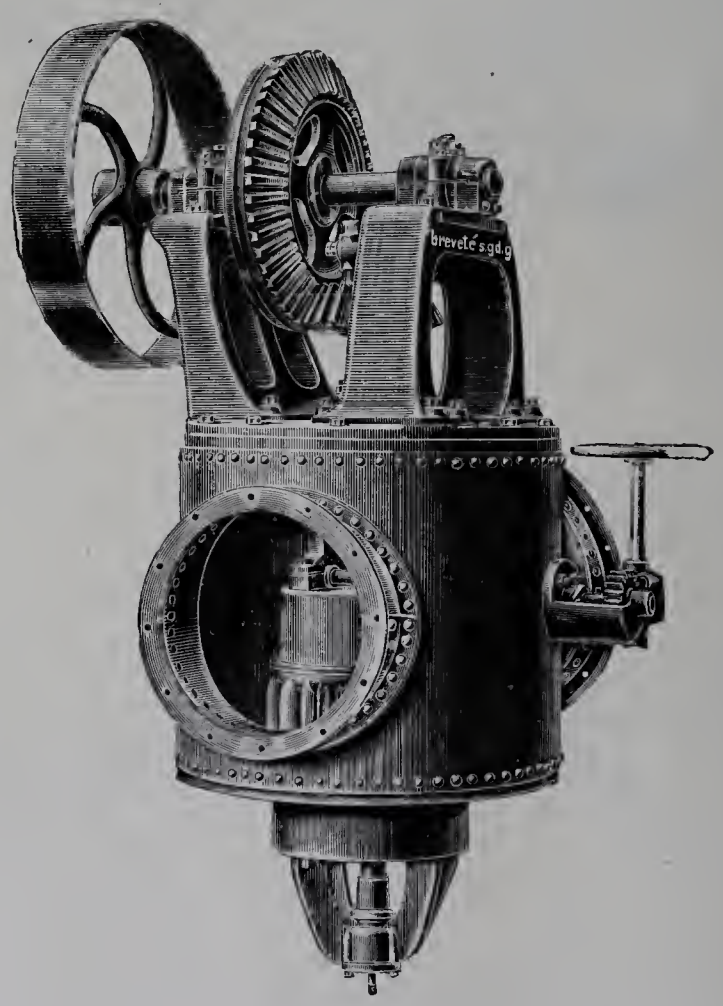


Fig. 171. — Turbine groupe, système Hercule-Progrès, de MM. Singrün frères.

Logée, comme la précédente, dans une bache métallique munie de sa tubulure de raccordement, elle est montée complète avec le tuyau d'amenée en tôle, la tête d'eau en maçonnerie, la prise d'eau avec son mécanisme, le pont de service et la grille d'ar-

rèt; enfin elle porte une transmission permettant d'actionner un appareil ou une usine quelconque (fig. 171).

Cette installation forme un groupe compact, facilement démontable et transportable, en cas de besoin, à dos d'homme ou de mulet, et permet l'utilisation d'une force hydraulique sans travaux d'eau, et même sans bâtiment pour loger la turbine. Elle convient donc tout particulièrement aux colonies et aux endroits difficilement accessibles.

Le pivot est en bois, la vanne se manœuvre à la main par un volant ou automatiquement.

Tous les organes du récepteur sont ceux de la turbine Hercule-Progrès dont nous avons donné la description dans les turbines pour basses chutes.

Nous trouvons plus loin une turbine à axe horizontal de 100 chevaux sous 19 mètres de chute, vitesse 700 tours par minute (fig. 172).

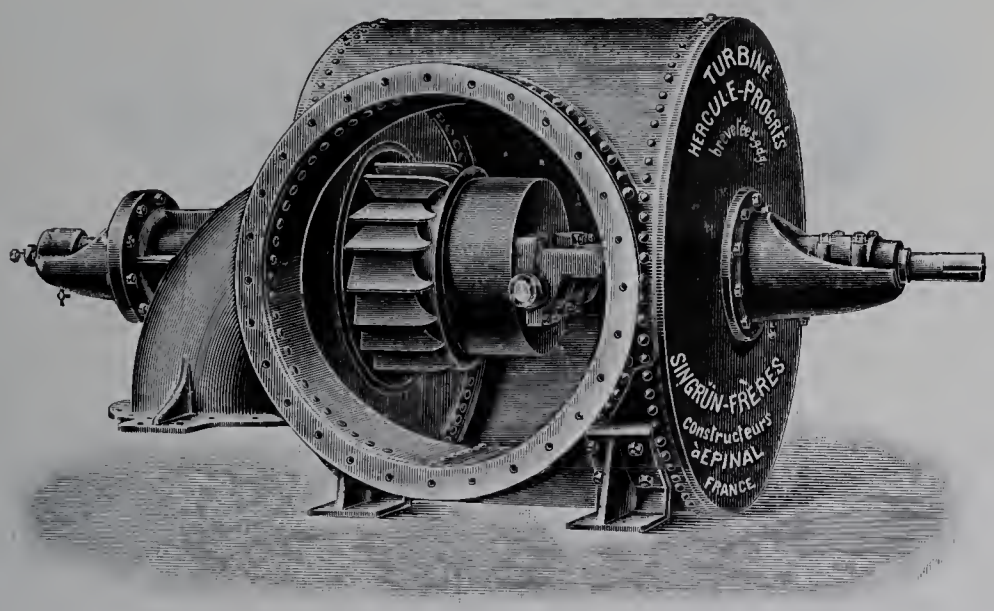


Fig. 172. — Turbine Hercule-Progrès à axe horizontal simple.

Les organes de ce moteur sont identiques à ceux du moteur vertical. L'eau arrive par la tubulure dans la huche métallique, traverse le distributeur, agit sur la roue mobile dont les aubes sont en bronze, puis se décharge, par un coude en fonte, dans un tuyau d'aspiration ou de succion qui l'évacue dans le canal d'aval.

Ce moteur est placé sur le sol de l'usine, à 5 mètres au-dessus du niveau du canal de fuite; il travaille, par conséquent, par pression sur une hauteur de 14 mètres et par aspiration sur la différence de 5 mètres.

Il actionne, directement accouplée avec lui, une machine dynamo-électrique de force équivalente.

MM. Singrün frères nous montrent enfin une turbine Hercule-Progrès à axe horizontal double de 1,500 chevaux sous la chute de 30 mètres, vitesse 550 tours par minute (fig. 173).

C. F. E.

Elle se compose de deux turbines de 750 chevaux chacune, calées sur un arbre transmettant la force totale à un manchon d'accouplement fixé à l'une des extrémités de l'arbre, lequel transmet l'énergie à un alternateur de même puissance.

Les deux turbines sont logées dans une forte huche métallique recevant l'eau par une tubulure placée à la partie inférieure.

Deux coudes en fonte, avec regards de visite, évacuent l'eau sortant des roues mobiles de chaque côté de la huche et la conduisent au canal de fuite par deux tubes de succion.

L'arbre moteur, en acier forgé, porte, à l'extrémité avant, sur un fort palier autograisseur à base circulaire facilement démontable et indépendant de la turbine.

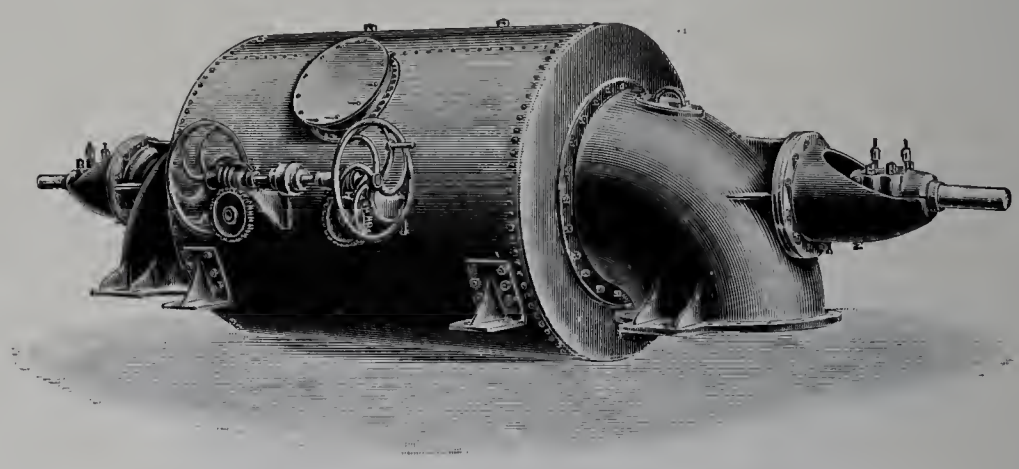


Fig. 173. — Turbine Hercule-Progrès à axe horizontal double.

À l'extrémité arrière l'arbre porte sur un autre palier, forme baïonnette, également autograisseur, sur lequel est fixée une boîte en fonte qui reçoit le pivot et une butée à billes réglable, permettant de marcher séparément avec l'une ou l'autre des turbines, ou bien avec les deux simultanément; dans ce dernier cas, les efforts sur le pivot, étant de directions opposées, s'équilibrent.

À l'intérieur de la huche, au milieu de sa longueur, l'arbre est maintenu par deux boitards fixés sur les dômes des turbines.

Afin de réduire au minimum la longueur totale de l'appareil, les vannes d'admission de l'eau sur les distributeurs sont du modèle rotatif; leur mécanisme est disposé de manière à pouvoir agir indistinctement sur l'un ou sur l'autre des moteurs, ou bien sur les deux en même temps; cette manœuvre se fait à la main ou automatiquement par un régulateur.

Les distributeurs sont reliés à la huche, en plus de leur assemblage sur les fonds de la huche, chacun par quatre fortes entretoises en fer forgé qui assurent à l'ensemble une rigidité parfaite.

Enfin la turbine se place à 5 m. 50 au-dessus du niveau d'aval.

MM. Teisset, veuve Brault et Chapron présentent deux turbines mixtes pour moyennes chutes, toutes deux à axe horizontal.

La première est de leur modèle « Américaine » simple de 35 chevaux sous 18 mètres de chute, vitesse 725 tours par minute (fig. 174).

Cette turbine absorbe 188 litres d'eau par seconde, et se trouve logée dans une bâche en fonte; le mouvement de l'obturateur est disposé pour pouvoir être manœuvré par un régulateur hydraulique système Ribourt.

Elle peut être accouplée directement à une dynamo.

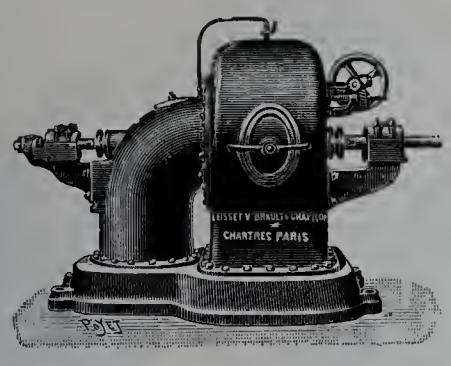


Fig. 174. — Turbine « Américaine » à axe horizontal.

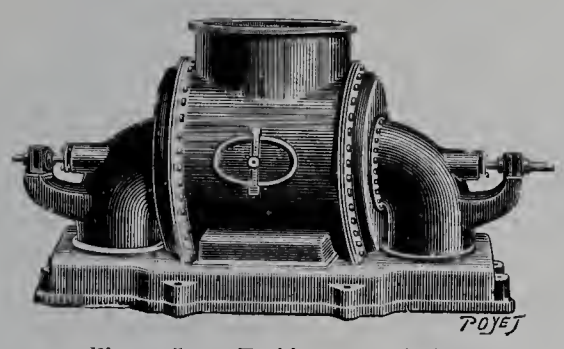


Fig. 175. — Turbine « Américaine » à axe horizontal double.

Une autre turbine est du système « Américaine » double de 345 chevaux sous la chute de 20 mètres avec 1,670 litres d'eau par seconde et une vitesse de 625 tours par minute (fig. 175).

Elle se compose de deux roues motrices montées sur un arbre unique et placées dans une bâche en fonte.

Le mécanisme des vannes obturatrices agit en même temps sur les deux turbines de manière à équilibrer la poussée de l'eau.

Nous passons maintenant à une turbine « Normale » de la maison Laurent et Collot frères, de Dijon, à axe horizontal.

La construction de cette turbine est identique à celle de la turbine « Normale » à axe vertical que nous avons vue dans le chapitre précédent, le pivot est en acier et se graisse à l'huile (fig. 176).

La vanne est actionnée à la main.

Cette turbine convient, comme ses similaires, à l'accouplement direct des machines électriques lorsque la chute permet d'obtenir une vitesse suffisante en rapport avec les conditions techniques d'établissement du générateur d'électricité, ou bien la commande peut être faite par poulie et courroie.

Terminons la série des turbines mixtes par la maison S. Morgan Smith, de York (États-Unis), qui expose une turbine « America », type MC, à axe horizontal n° 15, de 60 chevaux, sous la chute de 12 mètres, vitesse 465 tours par minute, placée dans une bache en tôle.

L'admission se fait par une tubulure, l'évacuation par un coude en fonte.

Cette turbine possède les mêmes organes que celle du modèle vertical que nous avons examinée dans les basses chutes, mais le mécanisme de commande du vannage est reporté

à l'extérieur de la huche à l'abri du contact de l'eau. C'est là une disposition heureuse, qui mérite d'être signalée, car elle réduit au minimum l'usure du mécanisme.

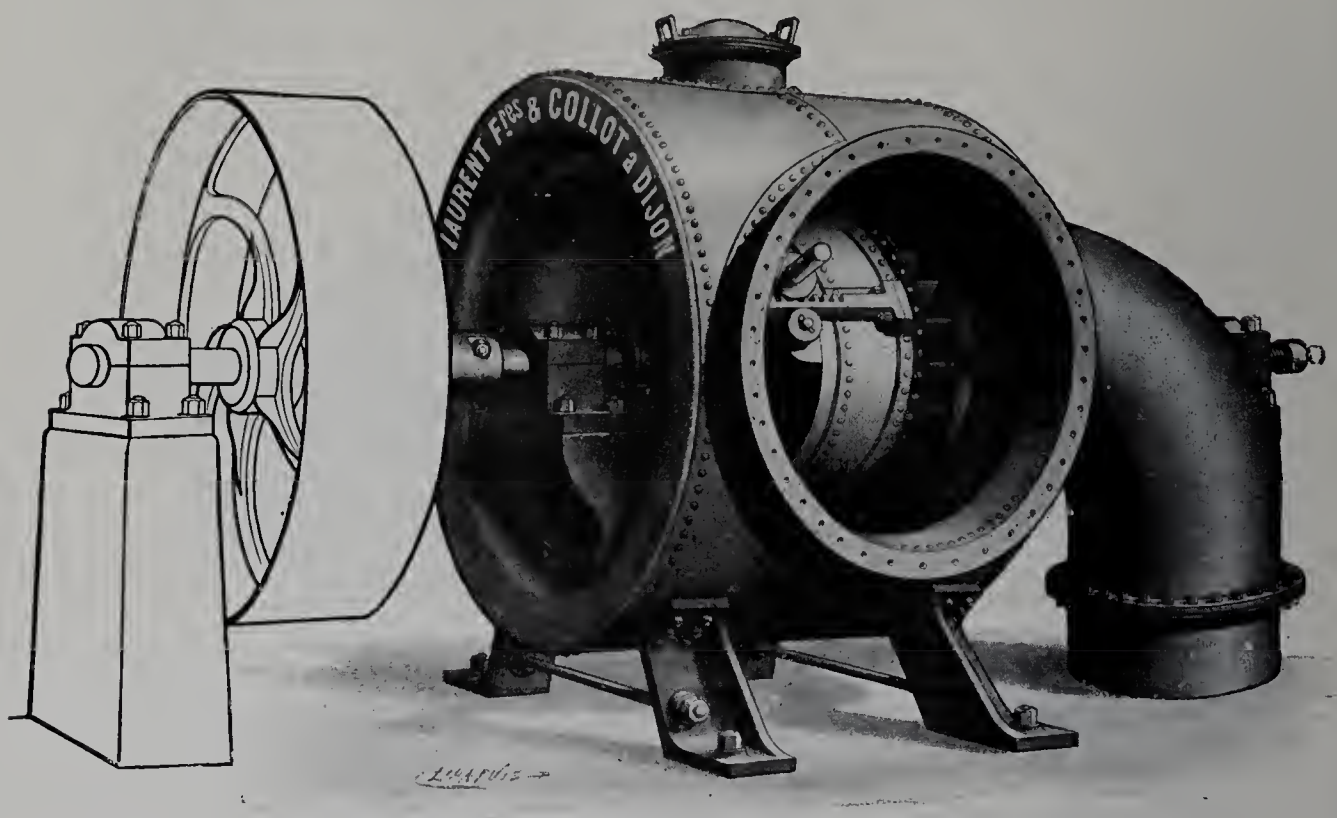


Fig. 176. — Turbine «Normale» à axe horizontal simple.

Turbines centrifuges. — Dans cette classe nous trouvons les dessins de la célèbre installation du Niagara, les organes moteurs d'une turbine de 1,500 chevaux pour l'usine électrique de Chêvres de la ville de Genève, et 7 turbines pour différentes applications.

Nous avons déjà dit qu'en raison de sa grande expérience dans l'étude et l'application des turbines, du caractère pratique et parfaitement étudié du projet qu'elle a présenté, la maison Piccard, Pictet et Cie, de Genève, avait obtenu la préférence dans le concours ouvert, entre les constructeurs du monde entier, pour l'utilisation des chutes du Niagara.

L'importante société qui exploite ces chutes a prévu l'installation de 25 turbines de 5,000 chevaux actionnant chacune une dynamo de même puissance; 10 turbines sont en marche et l'on procède actuellement à la construction d'un deuxième groupe de 10 autres moteurs semblables.

Les dessins de cette gigantesque et intéressante installation ont été publiés dans la plupart des journaux techniques, mais certaines modifications de détail, dont les plans ont été soumis au Jury, ont été apportées dans la construction des nouvelles turbines.

Les expériences ont démontré que ces turbines pouvaient développer l'énorme puissance de 5,600 chevaux chacune sous la chute de 41 m. 45 à la vitesse de 250 tours par minute avec 12,700 litres d'eau par seconde, soit un rendement de 79.78 p. 100; chiffre exceptionnellement élevé pour de pareils moteurs. (*Les turbo-machines*, par M. Rateau.)

Ces résultats font le plus grand honneur à l'habileté de la maison citée, qui a été la première à affronter les difficultés de construction d'unités de cette importance et nous constatons qu'elle a pleinement réussi à les surmonter.

L'examen des détails de la construction dénote les soins minutieux et l'esprit pratique qui ont présidé à l'étude de tous les organes.

Nous remarquons par les dessins des nouvelles turbines qu'elles sont toujours du modèle centrifuge, mais qu'elles n'ont plus qu'une couronne, à deux étages.

Les aubes de la roue mobile et les directrices du distributeur sont en bronze au manganèse qui résiste beaucoup mieux que la fonte ou l'acier à l'usure de l'eau chargée de sable et animée d'une grande vitesse; les directrices sont de longueurs différentes, disposition qui, en présentant une grande résistance, évite les tourbillons dans la bâche collectrice, facilite le passage de l'eau dans le distributeur et diminue le frottement sur les aubes directrices, par conséquent, les pertes d'effet utile (fig. 177).

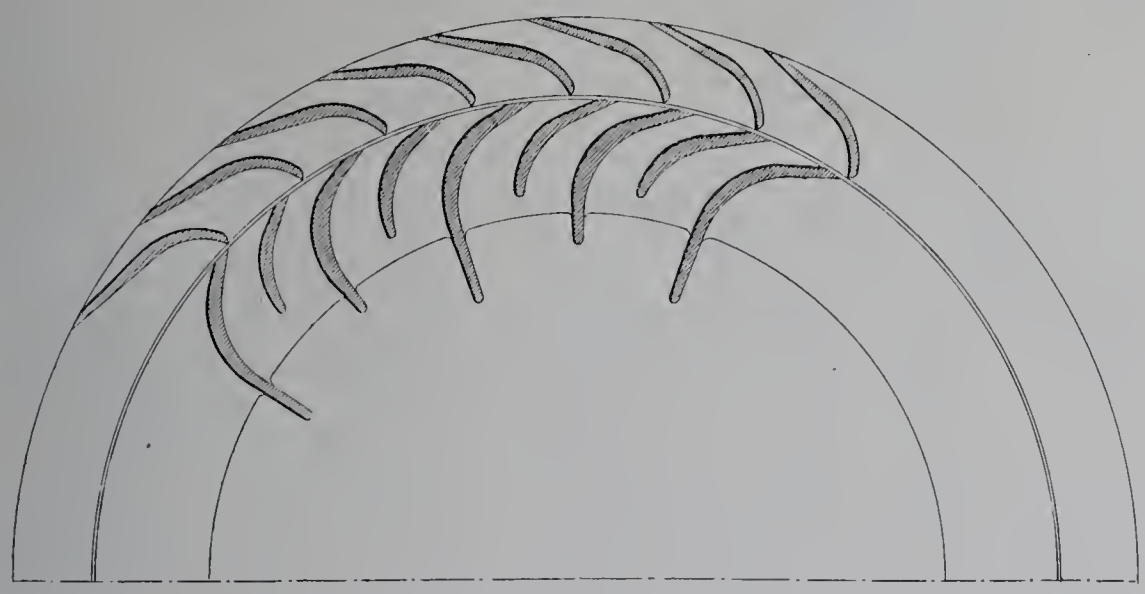


Fig. 177. — Coupe horizontale, par la roue mobile et le distributeur, d'une turbine de 5,000 chevaux, des chutes du Niagara.

Les angles d'entrée et de sortie sont très faibles (19 et 22 degrés).

Comme dans les premières turbines, le poids considérable de 64,700 kilogrammes de la partie tournante est supporté hydrauliquement par la pression hydrostatique sur le plateau supérieur de la roue mobile; la partie supérieure de l'arbre moteur, ainsi équilibrée, est maintenue dans un palier à collets.

La vanne est extérieure à la roue motrice, guidée par 3 tiges et soumise à l'action d'un régulateur semblable à celui de la première installation, sur lequel nous aurons, du reste, à revenir lorsque nous traiterons des régulateurs.

Passons ensuite aux organes moteurs d'une turbine centrifuge exposée par la Société des ateliers de constructions mécaniques Escher Wyss et Cie, de Zurich.

Ces organes sont destinés à une turbine de 1,500 chevaux à 120 tours pour l'importante usine électrique de la ville de Genève à Chêvres.

Ce modèle a été adopté pour les dix derniers groupes électrogènes à installer et se

compose de deux turbines superposées calées sur un même arbre vertical, chaque turbine étant formée de deux roues motrices réunies sur un disque médian fixé à un moyeu.

L'entrée de l'aubage est hélicoïdale; chaque couronne mobile est munie d'une vanne cylindrique extérieure qui règle l'admission de l'eau par l'obstruction des orifices de sortie. Elle se manœuvre à la main, au moyen d'un système de crémaillères et de roues d'angle, relié également à un régulateur de vitesse.

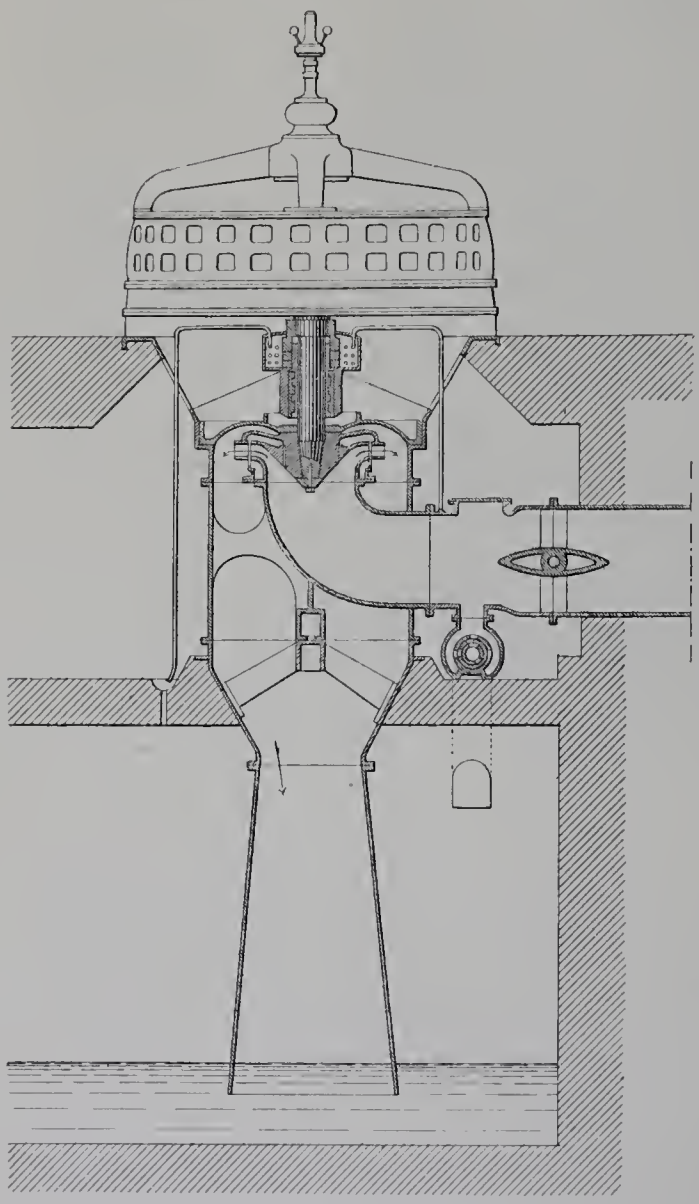


Fig. 178. — Turbine centrifuge de 1,100 chevaux de la Société Rieter et Cie.

Ces turbines fonctionnent sous une chute qui varie de 4 m. 30 à 8 m. 50; les constructeurs ont donc été conduits, en raison des grandes variations dans les conditions de marche, à multiplier le nombre de couronnes, afin de parer aux exigences du volume d'eau nécessaire au maintien de la force, lorsque la chute est réduite; cette disposition permet encore d'absorber un grand débit d'eau pour un petit diamètre de turbine, d'obtenir ainsi, sur un arbre unique, une force considérable et un nombre de tours élevé.

L'installation de Chêvres est munie de régulateurs hydrauliques à pression d'huile. Chaque régulateur est disposé de manière à agir successivement sur les deux turbines de chaque unité; le rendement mécanique reste ainsi sensiblement constant, malgré de grandes variations de charge ou de débit.

La Société Jacob Rieter et Cie, de Winterthur (Suisse), expose une intéressante turbine centrifuge de la force de 1,100 chevaux sous 65 mètres de chute, avec 300 tours par minute, faisant partie d'un groupe de quatre turbines semblables destinées aux usines hydro-électriques de Montbovon (Suisse).

Elle est établie à action limite entre la réaction et la libre déviation, et reçoit l'eau au centre, à la partie inférieure, par un coude en fonte logé et coulé d'une seule pièce avec une bâche concentrique dans laquelle elle se déverse après avoir agi sur la roue motrice, pour s'échapper par un tube de succion dans le canal de fuite (fig. 178).

L'arbre moteur porte, sur son prolongement, une dynamo, et repose sur un pivot

à anneaux concentriques placés au fond d'un réservoir d'huile, refroidie par un serpentin, dans lequel circule un courant d'eau sous la pression naturelle de la chute.

Le poids de la partie mobile de la dynamo est, en outre, équilibré par la colonne d'eau qui agit, de bas en haut, sur la partie inférieure du disque qui porte l'aubage mobile.

La vanne est cylindrique, du genre Fourneyron, et coulisse entre les couronnes fixe et mobile, sous l'action d'un volant à la main qui agit, par une tige et un levier, sur la soupape de distribution d'un servo-moteur hydraulique, pour la mise en marche ou l'arrêt du moteur.

Pendant la marche, la vanne est sous la dépendance d'un régulateur qui est, en même temps, en communication avec un tiroir circulaire de décharge placé à la partie inférieure de la conduite d'amenée.

Ce tiroir se découvre lorsque le régulateur ferme la vanne pour diminuer l'admission, et équilibre, par conséquent, la pression et le débit dans la conduite; le tiroir suit donc exactement les mouvements du pendule et, après chaque oscillation, est ramené progressivement et automatiquement à sa position de fermeture.

Cette disposition, très ingénieuse, évite les surpressions et les coups de bélier dans la conduite, par conséquent les dangers de rupture de cette dernière. Nous retrouverons des dispositions semblables dans la plupart des turbines pour hautes chutes que nous examinerons plus loin.

L'admission de l'eau sur la turbine est produite par un papillon placé à l'entrée du coude de distribution, actionné du sol de l'usine par un volant qui agit, sur un secteur denté, par une vis sans fin.

Dans les turbines centrifugesà axe horizontal, nous remarquons celles de :

La Société des ateliers Théo. Bell et Cie, à Kriens, qui nous montre une turbine de 600 chevaux sous 75 mètres de chute, avec une vitesse de 400 tours par minute.

Ce moteur est du type classique, genre Girard, à admission totale et libre déviation.

Le réglage se fait par un vannage annulaire cylindrique, agissant sur la sortie de l'eau placée entre le distributeur et la roue mobile.

La turbine est reconverte d'une bâche aspirante hermétique permettant de la placer au-dessus du niveau d'aval sur un aspirateur muni d'une soupape hydro-pneumatique, genre Meunier, qui règle automatiquement la hauteur de la colonne aspirante et la ventilation des évents qui assurent la libre déviation.

La maison Ganz et Cie, de Budapest, expose une petite turbine à admission partielle et libre déviation, système Girard, de 600 millimètres de diamètre, développant une force de 5 chevaux sous 50 mètres de chute avec un débit de 10 litres d'eau par seconde, et une vitesse de 450 tours par minute.

MM. Royer et Joly, d'Épinal, présentent une turbine de 50 chevaux sous la chute de 30 mètres, admission partielle et libre déviation, système Girard, pour un débit de 40 à 160 litres par seconde.

L'eau n'est admise que sur deux quarts de la circonférence du distributeur, opposés l'un à l'autre, de manière à équilibrer les efforts.

Le vannage se manœuvre à la main à l'aide d'un volant ou bien par un régulateur automatique de vitesse agissant sur un double segment obturateur.

Les angles de sortie sont très faibles puisqu'ils n'accusent que 20 degrés pour les directrices fixes et 12 degrés pour les aubes.

L'arbre tourne sur des paliers graisseurs, l'ensemble du moteur forme un tout monté d'une seule pièce qui facilite l'installation et permet l'accouplement direct d'une dynamo.

MM. Darblay père et fils, à Essonnes, exposent une turbine Girard à admission partielle et libre déviation de la force de 12 chevaux sous 14 mètres de chute, avec une vitesse de 300 tours par minute.

L'eau arrive à la circonférence intérieure de la roue motrice par un cylindre en fonte qui porte la tubulure de prise d'eau.

Un papillon obturateur équilibré agit à la fois sur deux quarts de la circonférence pour l'admission de l'eau sur la turbine; il est monté sur un arbre qui traverse le fond du cylindre dans un presse-étoupe et reçoit son mouvement de rotation par un volant placé à l'extérieur, lequel agit sur une vis sans fin.

Une turbine identique fonctionne à l'usine élévatoire de la ville de Paris, à Trilbardou.

La Société des ateliers Drammens Jernstoberi et Mek. Vaerksted (Norvège) présente une turbine Girard de la force de 150 chevaux sous la chute de 106 mètres, tournant à 515 tours par minute.

Elle est à admission partielle sur une faible partie de la circonférence intérieure.

Le réglage de l'arrivée de l'eau sur le secteur de distribution se fait au moyen d'un tiroir actionné de l'extérieur par un arbre qui traverse un presse-étoupe et porte, à son extrémité, un levier relié au régulateur automatique, mais qui peut également se manœuvrer à la main.

Un robinet-vanne et un papillon, actionné par vis sans fin, règlent l'admission de l'eau sur le tiroir obturateur.

La turbine est fixée sur un bâti robuste en fonte, le couvre-turbine est en tôle, les paliers sont à longue portée et bien construits.

La turbine ne présente aucune nouveauté digne de remarque, mais sa construction est très soignée.

Cet exposant nous montre encore deux roues motrices de turbine Girard, en pièces détachées dont une entièrement en fonte, l'autre avec aubes en tôle d'acier coulées dans la masse.

Turbines parallèles. — En turbines parallèles nous trouvons d'abord une turbine genre Fontaine, de MM. Teisset, veuve Brault et Chapron, de Chartres, à axe hori-

zontal et injection partielle, disposée pour une force de 10 chevaux, sous la chute de 25 mètres, à la vitesse de 280 tours par minute.

MM. Royer et Joly, d'Épinal, nous montrent deux turbines parallèles pour chutes moyennes.

La première est une turbine genre Girard à axe vertical, de 200 chevaux sous 9 mètres de chute, admission partielle, placée dans une enveloppe en fonte, ou huche, que traverse l'arbre creux du pivot hors de l'eau.

Le distributeur se prolonge vers la partie supérieure, il est couvert par une cloche en fonte, formant obturateur équilibré, tournant sur un écrou réglable.

Les directrices et les aubes sont établies de manière à ce que les trajectoires des filets liquides soient tangentes au cercle médian des roues fixe et mobile, de sorte que l'évasement de la partie inférieure de l'aubage se trouve reporté tout entier à la partie extérieure.

Le vannage est très robuste, la commande se fait à la main.

La seconde turbine de ce modèle présentée par ces exposants est encore du type Girard hélicoïde, mais à axe horizontal double, admission partielle et régulateur automatique de vitesse, chambre d'eau forcée en fonte, force 100 chevaux sous 12 mètres de chute.

Elle se compose de deux moteurs accouplés sur un même arbre. Les vannages sont actionnés à la main à l'aide d'une manivelle et reliés au régulateur.

L'arbre tourne sur deux paliers autograisseurs à bagues et porte des rondelles pour empêcher la projection de l'eau à l'extérieur.

La turbine est construite spécialement pour actionner directement, à l'aide de manchons élastiques, deux dynamos de 50 chevaux chacune, faisant 300 tours par minute.

Nous donnerons dans le chapitre spécial de ces appareils les détails sur le régulateur appliqué à cette turbine.

MM. Laurent et Collot frères, de Dijon, présentent une turbine à axe vertical, à libre déviation, système Girard, de construction classique.

Le pivot est hors de l'eau avec arbre creux, l'obturation des conduits du distributeur est produite par un anneau plat qui les recouvre, et qui est commandé à la main.

La Société Danubius-Schonichen Hartmann, de Budapest, expose une roue de turbine parallèle à libre déviation pour chute de 6 mètres.

La partie inférieure des aubes, au lieu d'être élargie comme dans le système Girard, est coulée en forme de cuillers comme dans les turbines mixtes; l'on obtient ainsi une section de sortie très grande sans avoir recours à l'élargissement de la partie inférieure de la couronne, et l'angle β, sous lequel l'eau quitte l'aubage, peut être très faible, ce qui est favorable au rendement.

Cette application paraît nouvelle, mais l'expérience seule pourra dire si elle présente des avantages sur la construction classique.

Enfin nous terminons les turbines parallèles par un modèle en réduction présenté par M. F. Hiorth, ingénieur à Christiania (Norvège).

Le système de turbine exposé, à l'échelle de 1/10, est étudié tout spécialement pour maintenir constant le volume d'eau qui passe par le moteur, quel que soit le degré d'ouverture de la vanne.

À cet effet, une série d'orifices placés au-dessous du distributeur déchargent l'eau qui n'est pas absorbée par la turbine, et qui s'écoule dans le canal de fuite sans produire aucun travail (fig. 179).

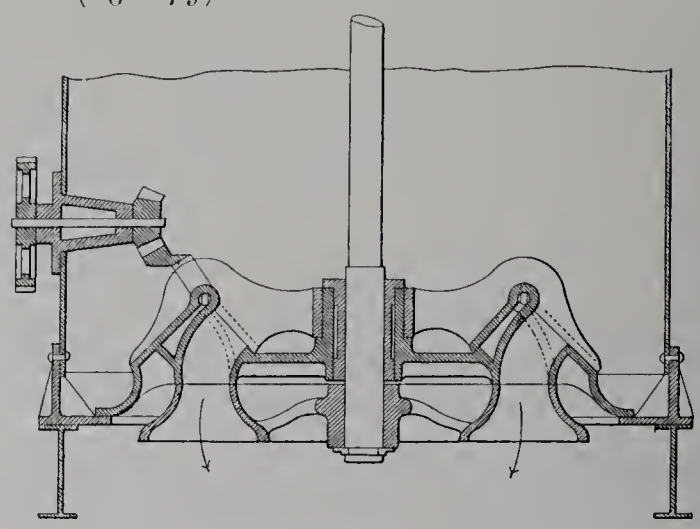


Fig. 179. — Turbine parallèle, système Hiorth.

Ces orifices se découvrent par le simple mouvement de la vanne, au fur et à mesure que le passage de l'eau dans les canaux directeurs est réduit.

Ce système n'a son emploi que sur les cours d'eau ou canaux à débit constant, utilisés comme force motrice par plusieurs usiniers, et a pour but d'empêcher les troubles dans la jouissance des droits d'eau d'un propriétaire au détriment d'un autre.

Les applications du système sont donc limitées et n'ont d'intérêt que dans les cas spéciaux.

La disposition adoptée nous paraît nouvelle, mais le même résultat peut être obtenu par d'autres combinaisons.

Le pivot de la turbine se trouve à la partie supérieure et tourne dans l'eau soit à la pression naturelle, soit sous pression artificielle; il n'offre que très peu de résistance au mouvement de rotation et n'a besoin d'aucun graissage.

M. Hiorth nous montre encore un modèle en réduction d'une roue motrice de turbine parallèle, à changement de marche, lequel est obtenu par un simple mouvement de la vanne obturatrice; la roue est à double couronne dans lesquelles l'inclinaison de l'aubage est de sens différent.

TURBINES POUR HAUTES CHUTES.

Cette classe comprend 25 moteurs dont 22 du type à action tangentielle et 3 centrifuges.

Turbines tangentielles. — MM. Singrün frères, d'Épinal, exposent 5 turbines « Excelsior » basées sur le principe de la roue-turbine Pelton dont nous avons donné la description pages 161 et 162, mais à laquelle ces constructeurs ont apporté des perfectionnements que nous allons examiner.

Nous remarquons d'abord une turbine dont la roue motrice a 1 m. 50 de diamètre et porte 20 augets de 0 m. 270 de largeur.

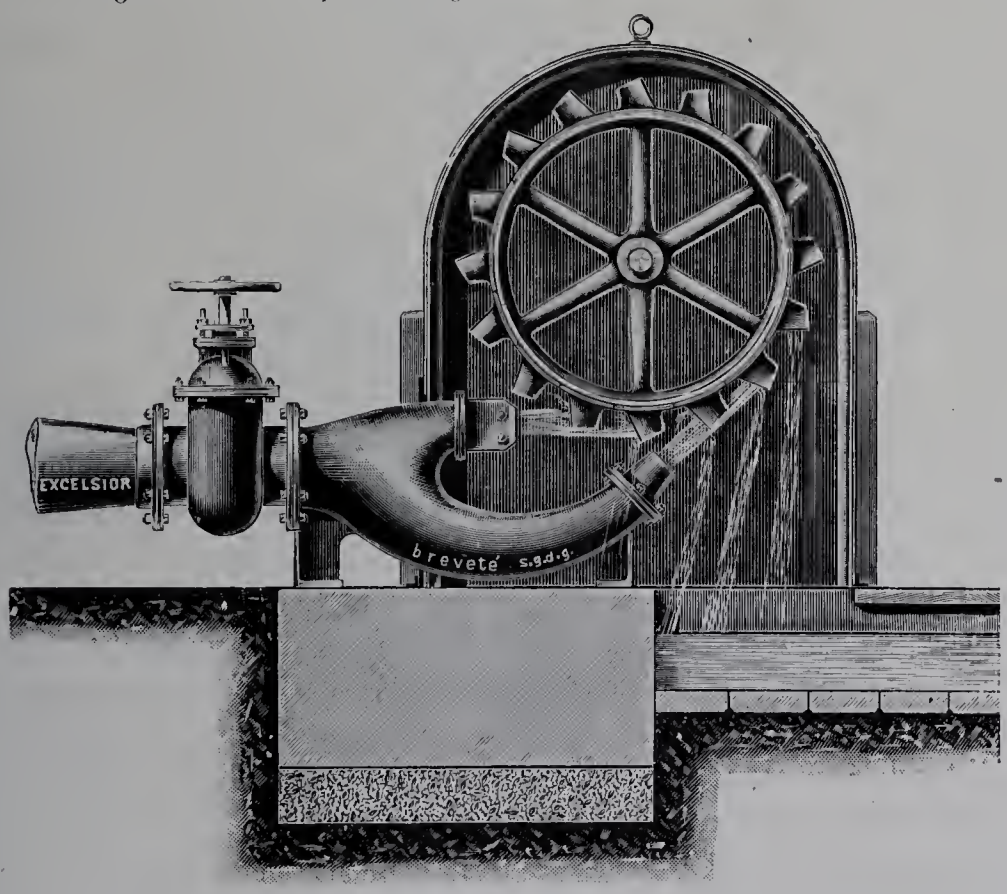


Fig. 180. — Turbine « Excelsior » à double injecteur.

Elle est montée sur un arbre horizontal maintenu par trois paliers autograisseurs fortement boulonnés sur un massif en pierres; une poulie placée entre les deux paliers extrêmes reçoit une courroie permettant la commande d'une transmission ou d'un appareil quelconque (fig. 180).

Sous une chute de 20 mètres, cette turbine développe une force de 40 chevaux à la vitesse de 125 tours par minute.

L'eau est amenée par une conduite de 0 m. 40 de diamètre, à travers un robinet-vanne et un papillon, sur un injecteur à deux orifices qui dirige le double jet sur les

IMPRIMERIE NATIONALE.

augets, à la partie inférieure de la roue motrice, tangentiellement à leur ligne médiane; l'eau agit par sa force vive successivement sur chaque auget.

La section totale des deux orifices injecteurs est de 0 m² 011 correspondant à une vitesse d'écoulement de $0.90\sqrt{2gH}$.

La mise en route de la turbine s'obtient par l'ouverture du robinet-vanne, le réglage se faisant ensuite automatiquement par un régulateur de vitesse à action mécanique agissant sur le papillon-obturateur; nous donnerons plus loin les détails de cet appareil.

D'une installation particulièrement simple et facile, d'un prix peu élevé, cette turbine a ses deux ajutages de l'injecteur double fixes, démontables à la main. Les variations du débit sont corrigées soit à la main par le robinet-vanne, soit automatiquement par le régulateur; lorsqu'elles sont d'une certaine durée, on change les ajutages pour mettre la section des orifices en rapport avec le débit d'eau disponible.

Nous trouvons ensuite une turbinette de même système de la force de 10 kilogrammètres sous 40 mètres de pression d'eau avec 2,500 tours par minute.

Ce moteur est à un seul ajutage, fixe, monté dans une enveloppe en fonte, et s'applique plus spécialement sur les conduites d'eau des villes où il convient pour la commande des machines à coudre, de machines électriques de laboratoire, d'outils d'amateurs ou tous autres appareils n'exigeant qu'une force peu importante.

Le diamètre de la roue est de 0 m. 10, elle porte 16 aubes de 25 millimètres de largeur.

Plus loin nous remarquons une turbine *Excelsior*, de 25 chevaux, sous 100 mètres de chute, avec une vitesse de 900 tours par minute, diamètre de la roue 0 m. 45.

Elle est à ajutage fixe unique, démontable, et porte par deux paliers graisseurs sur un socle et une enveloppe en fonte (fig. 181).

L'eau arrive par une conduite de 0 m. 15 de diamètre, à travers un robinet-vanne précédé d'un papillon obturateur.

Ce papillon est relié à un régulateur automatique de vitesse, à force centrifuge, placé sur l'enveloppe de la turbine, lequel agit par l'intermédiaire d'un servo-moteur hydraulique à piston différentiel qui fonctionne sous la pression naturelle de la chute.

Ce modèle forme un ensemble bien groupé, d'une installation facile et d'un bel aspect.

Les roues-turbines *Excelsior*, à ajutages fixes, que nous venons de passer en revue, donnent un rendement élevé lorsqu'elles fonctionnent à pleine admission, mais cette disposition ne permet pas de varier, pendant la marche du moteur, la force ou le volume d'eau dépensé autrement que par la fermeture à la main du robinet-vanne ou bien automatique du papillon. Dans les deux cas, la veine liquide est étranglée, déviée, elle subit des perturbations qui diminuent beaucoup le rendement.

Pour éviter ces pertes d'effet utile, on peut remplacer les ajutages, facilement démontables à la main, mais c'est là une sujétion à laquelle il n'est pas toujours aisé de se soumettre puisqu'elle exige l'arrêt du moteur, et que, dans certains cas, l'opération peut se répéter plusieurs fois par jour.

C'est un inconvénient très grave de toutes les turbines basées sur le principe de l'in-

jection par ajutages fixes, MM. Singrün frères l'ont fait disparaître par l'emploi de leur nouvel ajutage réglable breveté s. g. d. g.; les constructeurs suisses l'évitent, quoique dans des conditions moins favorables, par une autre disposition dont nous parlerons plus loin.

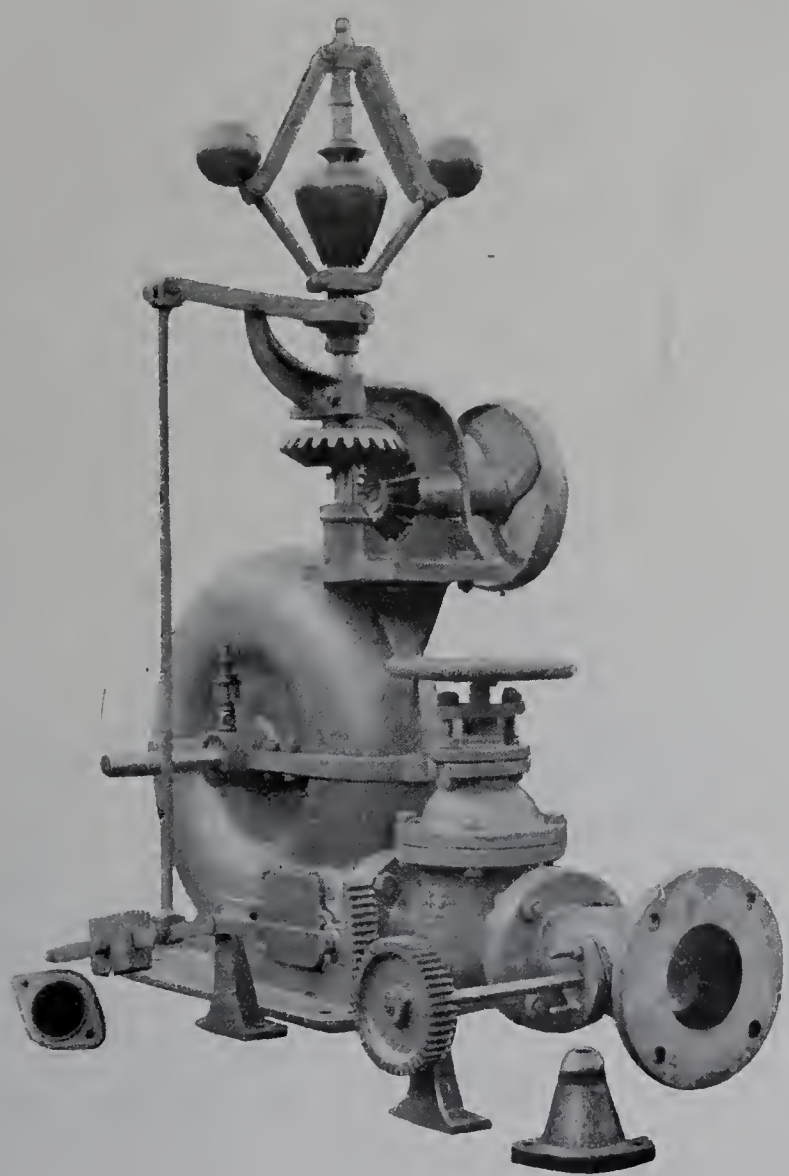


Fig. 181. — Turbine « Excelsior » avec régulateur.

L'ajutage réglable de MM. Singrün frères permet de régler instantanément la section du jet, en pleine marche, à la main ou automatiquement, depuis le plus fort jusqu'au plus faible débit et même jusqu'à la fermeture complète de l'orifice injecteur. La pression exercée sur les aubes reste constante, la veine liquide conserve son parallélisme et sa compacité, elle ne subit ni déformation, ni déviation, ni changement de direction; enfin l'angle et le centre d'injection sont invariables et conservent leur valeur et leur position les plus favorables quel que soit le degré de réduction de l'admission de l'eau; le rendement de la turbine reste donc très sensiblement le même dans toutes les circonstances de la marche.

Cette intéressante invention mérite d'être examinée dans tous ses détails. Le nouvel

ajutage réglable breveté s. g. d. g. se compose d'une boîte en fonte ou en acier GF dans laquelle l'eau pénètre par l'extrémité L (fig. 182 et 183). Elle est dirigée sur la roue motrice A suivant la ligne LM qui est le centre d'injection et de pression absolument invariable.

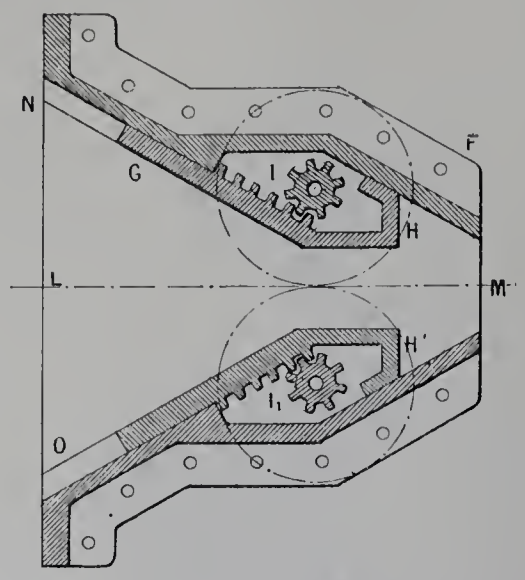


Fig. 182. — Ajutage réglable breveté s. g. d. g. de MM. Singrün frères (position de marche).

Le jet est limité, en largeur, par les parois G et F (cette dernière est démontable), et en hauteur par la face intérieure des mâchoires H et H′ qui sont mobiles et glissent le long de surfaces parallèles entre elles, NN′ et OO′, et leur servent d'appui.

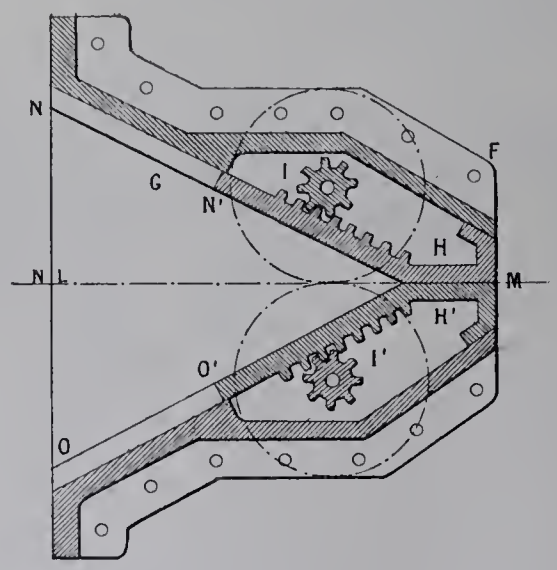


Fig. 183. — Ajutage réglable (position de fermeture).

Ces mâchoires portent, sur une de leurs faces, des crémaillères et sont commandées par des pignons H′ qui sont généralement coulés ou forgés d'une pièce avec leurs arbres, lesquels traversent deux presse-étoupes JJ′ et portent, à leur extrémité extérieure, des engrenages PP′ actionnés par une vis sans fin unique Q commandée à la main par un volant R, mais qui peut aussi être reliée à un régulateur automatique de vitesse.

En agissant sur la vis sans fin Q, les pignons H′ font glisser et déplacent les deux

mâchoires HH′ le long des surfaces NN′ et OO′, modifient la section de l'orifice dont toutes les parois restent néanmoins parallèles entre elles et conservent au jet la même direction, le même centre d'injection.

La figure 182 montre les mâchoires complètement ouvertes, avec le maximum de section de l'orifice, tandis que la figure 183 les représente presque entièrement fermées.

Un plus grand déplacement amènerait le contact des mâchoires sur le centre d'injection, l'orifice se trouverait complètement fermé. En plus de leurs surfaces d'appui contre les faces NN′ et OO′, les mâchoires HH′ sont guidées, dans leur partie élargie, par des rainures KK′ ménagées dans la cage G et le couvercle F.

Des rainures S conduisent l'eau sur la face extérieure des mâchoires, équilibrent la pression sur les deux faces de ces organes, et réduisent ainsi au minimum les efforts qui tendraient à les déplacer.

Nous trouvons une première application de cet ingénieux appareil sur une turbine *Excelsior,* de 225 chevaux, sous une chute de 200 mètres, à la vitesse de 200 tours par minute.

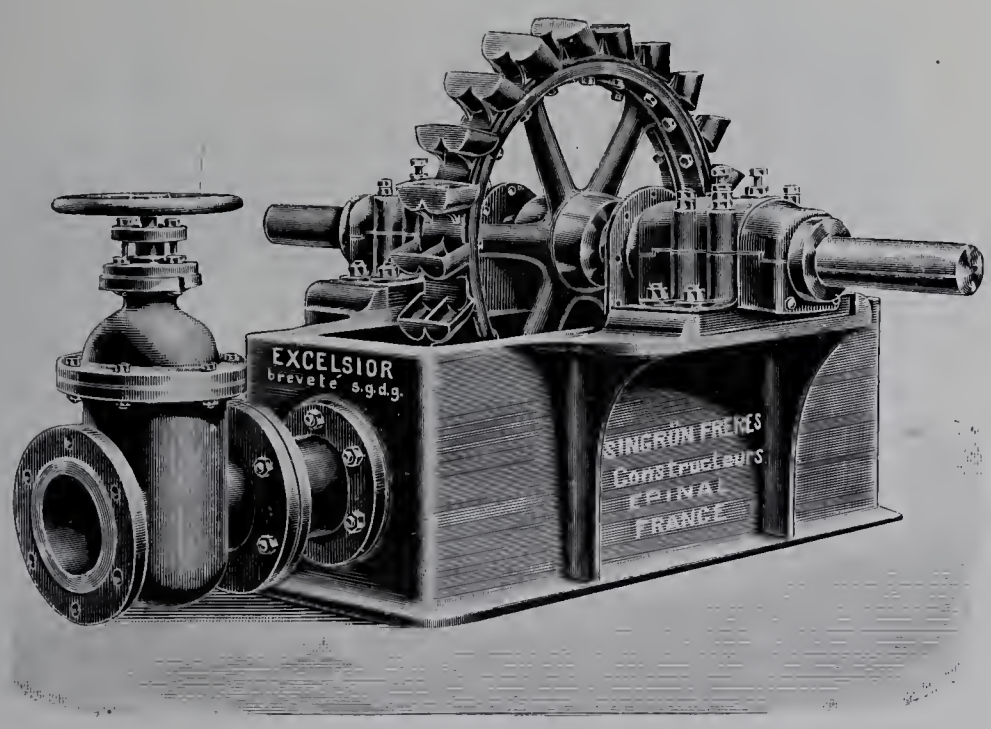


Fig. 184. — Turbine « Excelsior » sur bâti en fonte.

La roue motrice a 0 m. 90 de diamètre et porte 22 augets doubles fixés sur un disque en fonte tourné et équilibré, le tout monté sur un fort arbre en acier forgé maintenu par deux solides paliers autograisseurs (fig. 184).

L'eau est amenée, par une conduite de 0 m. 25 de diamètre, à un robinet-vanne placé à l'entrée de l'injecteur muni de l'ajutage réglable breveté.

Toute la turbine est montée sur un fort bâti en fonte sur lequel se fixe un couvre-roue empêchant les projections de l'eau à l'extérieur.

L'eau est admise sur l'ajutage réglable par l'ouverture du robinet-vanne, la mise en

marche et le réglage de la vitesse s'obtiennent ensuite par la manœuvre d'un volant placé sur le côté du bâti, en mettant la section d'écoulement de l'eau en rapport avec le débit disponible ou la force qu'on demande.

Cette manœuvre se fait d'abord à la main, ensuite automatiquement par un régulateur.

Une autre application du nouvel ajutage est faite sur une turbine *Excelsior,* de 120 chevaux, sous la chute de 50 mètres tournant à 250 tours par minute.

Pour obtenir une aussi grande vitesse avec une chute relativement peu élevée, la turbine est jumelle et se compose de deux roues de 1 m. 20 de diamètre calées sur un arbre unique, sur lesquelles l'eau est projetée par deux injecteurs, chacun à double ajutage, dont un fixe et l'autre réglable, modèle breveté (fig. 185).

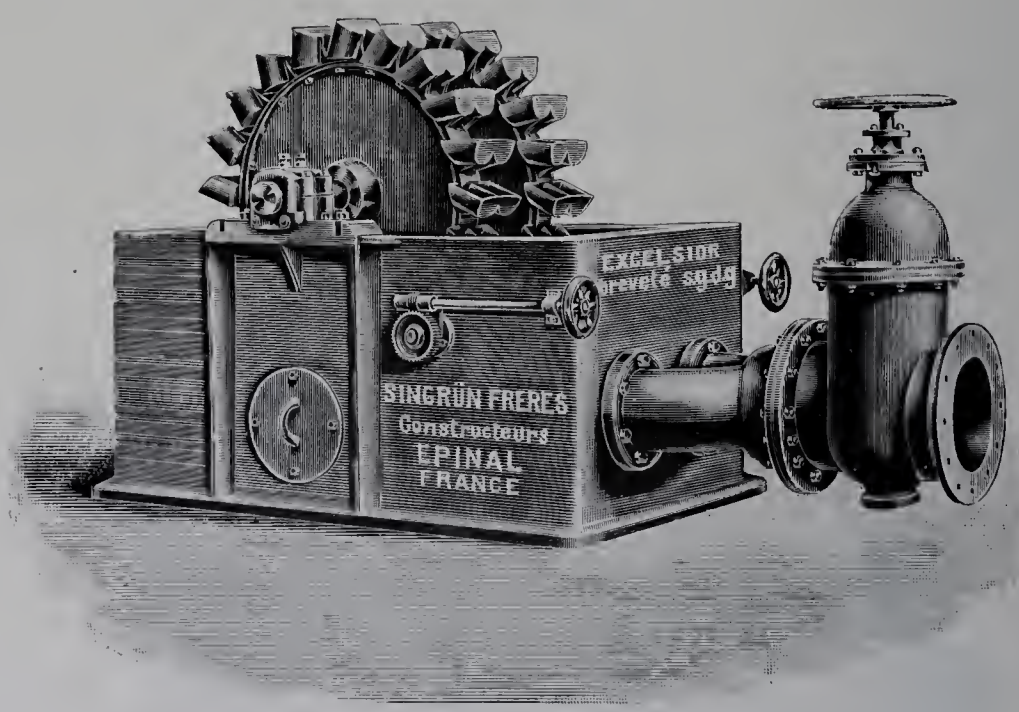


Fig. 185. — Turbine « Excelsior » jumelle.

L'arbre est en acier forgé, maintenu dans deux paliers fixés sur un grand bâti en fonte qui porte des regards de visite et contre lequel est boulonné un tuyau en Y distribuant l'eau sur les deux injecteurs.

Un robinet-vanne opère la mise en marche ou l'arrêt du moteur.

Les deux ajutages réglables se manœuvrent simultanément ou séparément, à la main ou par régulateur automatique.

Enfin un couvre-roue en tôle d'acier évite les projections d'eau à l'extérieur.

Comme pour les turbines des autres systèmes que nous avons vus dans la section des moteurs pour basses ou moyennes chutes, la disposition d'accouplement de deux roues motrices sur un même arbre permet de doubler la force d'un moteur pour une vitesse donnée, et trouve de nombreuses et importantes applications.

La Société Escher Wyss et Cie, de Zurich (Suisse), expose une collection de cinq turbines pour hautes chutes, dites à haute pression. Nous retrouvons ce modèle chez tous

les exposants suisses, avec quelques variantes dans la forme des augets ou la disposition des organes, mais elles sont toujours basées sur le même principe que les turbines genre Pelton que nous avons vues dans la section française.

Ces turbines se construisent pour chutes jusqu'à 600 mètres de hauteur.

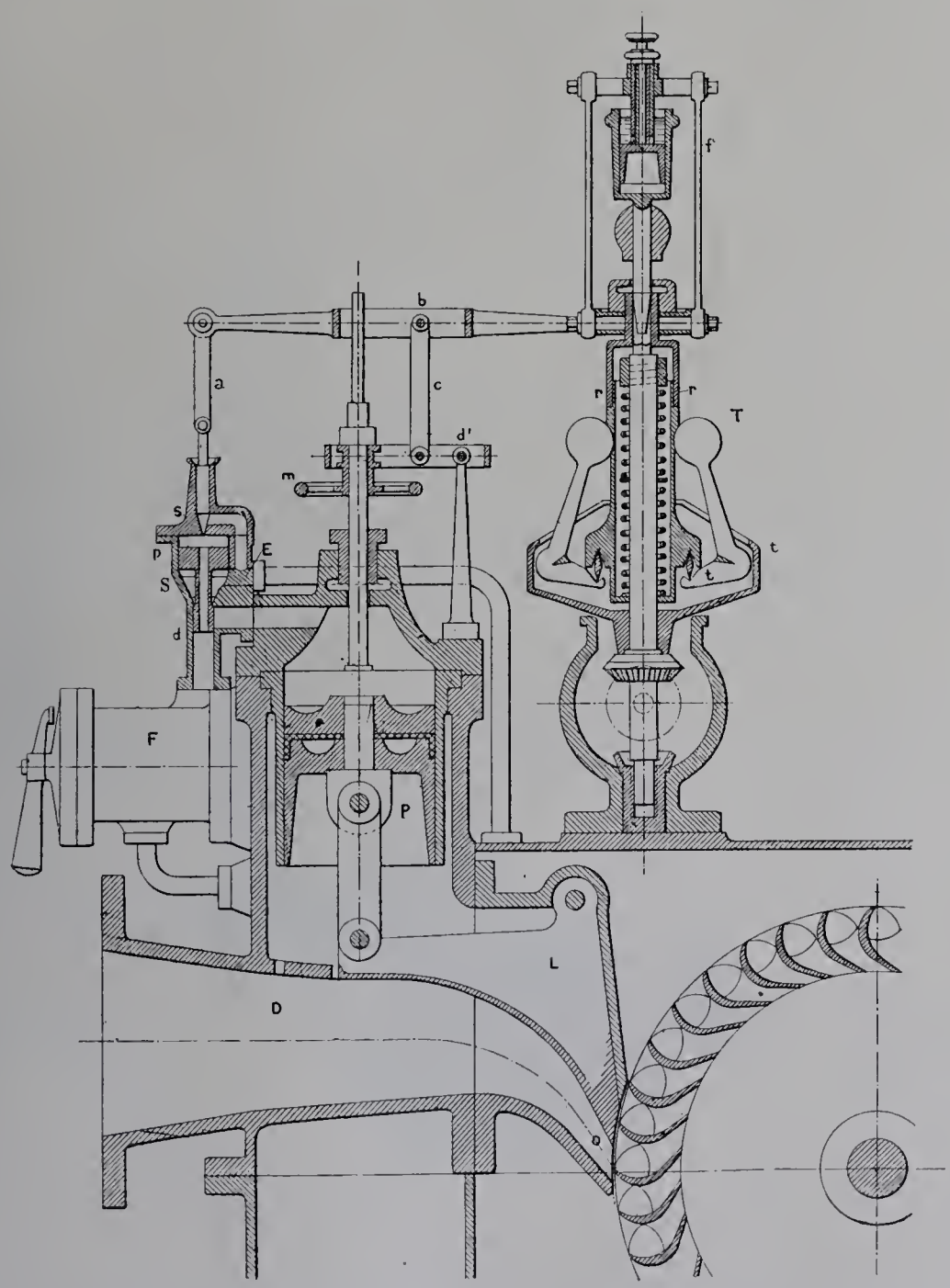


Fig. 186. — Turbine à haute pression de la Société Escher Wyss et Cie.

Comme dans la turbine Pelton, l'action de l'eau est tangentielle, l'admission sur l'aubage se fait en agissant sur une lèvre mobile qui rétrécit plus ou moins l'orifice injecteur et le met en rapport avec la force demandée ou le débit disponible (fig. 186).

L'aubage porte, comme dans la turbine originale, une cloison médiane, mais la joue inférieure de l'auget est supprimée.

La lèvre porte une queue reliée à un piston asservi au régulateur, la mise en marche ou le réglage peuvent également se faire à la main, au moyen d'un volant qui agit sur une partie filetée de la tige du piston servo-moteur.

Toute la turbine est recouverte d'une enveloppe en fonte qui supporte le régulateur.

Dans ce groupe nous remarquons :

a. Une turbine pour chute de 200 mètres, développant une force de 40 chevaux, à la vitesse de 2,000 tours par minute.

La roue a 0 m. 30 de diamètre; elle est munie d'un régulateur de vitesse.

b. Une turbine de même modèle que la turbine *a*, pour 100 mètres de chute, 20 chevaux, 1,400 tours.

c. Une turbine de 110 chevaux, à 600 tours, pour chute de 92 mètres, roue de 0 m. 70 de diamètre avec régulateur hydraulique automatique, système Escher Wyss et Cie, pourvu d'un tachymètre à ressort, d'un servo-moteur, d'une soupape de réglage et de filtres, le tout combiné avec un appareil de réglage de pression.

Cette turbine va être installée à l'usine d'éclairage électrique d'Arosa (Grisons).

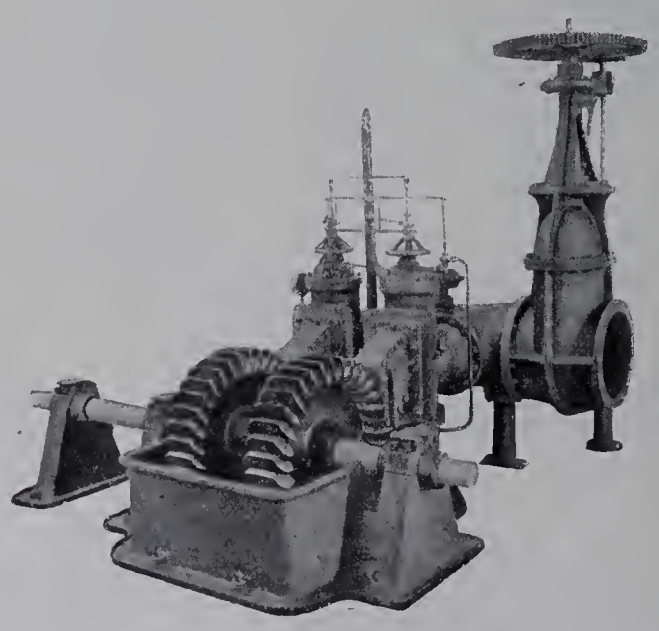


Fig. 187. — Turbine à haute pression de la Société Escher Wyss et Cie, type jumelle.

d. Une turbine de 220 chevaux, à 400 tours, pour chute de 91 mètres, destinée à l'éclairage électrique de Brides-les-Bains, où fonctionnent déjà trois turbines semblables.

La roue a 0 m. 70 de diamètre, le régulateur est identique à celui de la turbine précédente, sur lequel nous donnerons des détails dans le chapitre spécial des régulateurs.

e. Une turbine jumelle de 550 chevaux, à 375 tours, pour une chute de 92 mètres, destinée à la Société Electrica de Barcelone (Espagne), et composée de deux roues motrices de 1 m. 100 de diamètre, calées sur un arbre unique, munies chacune de tous

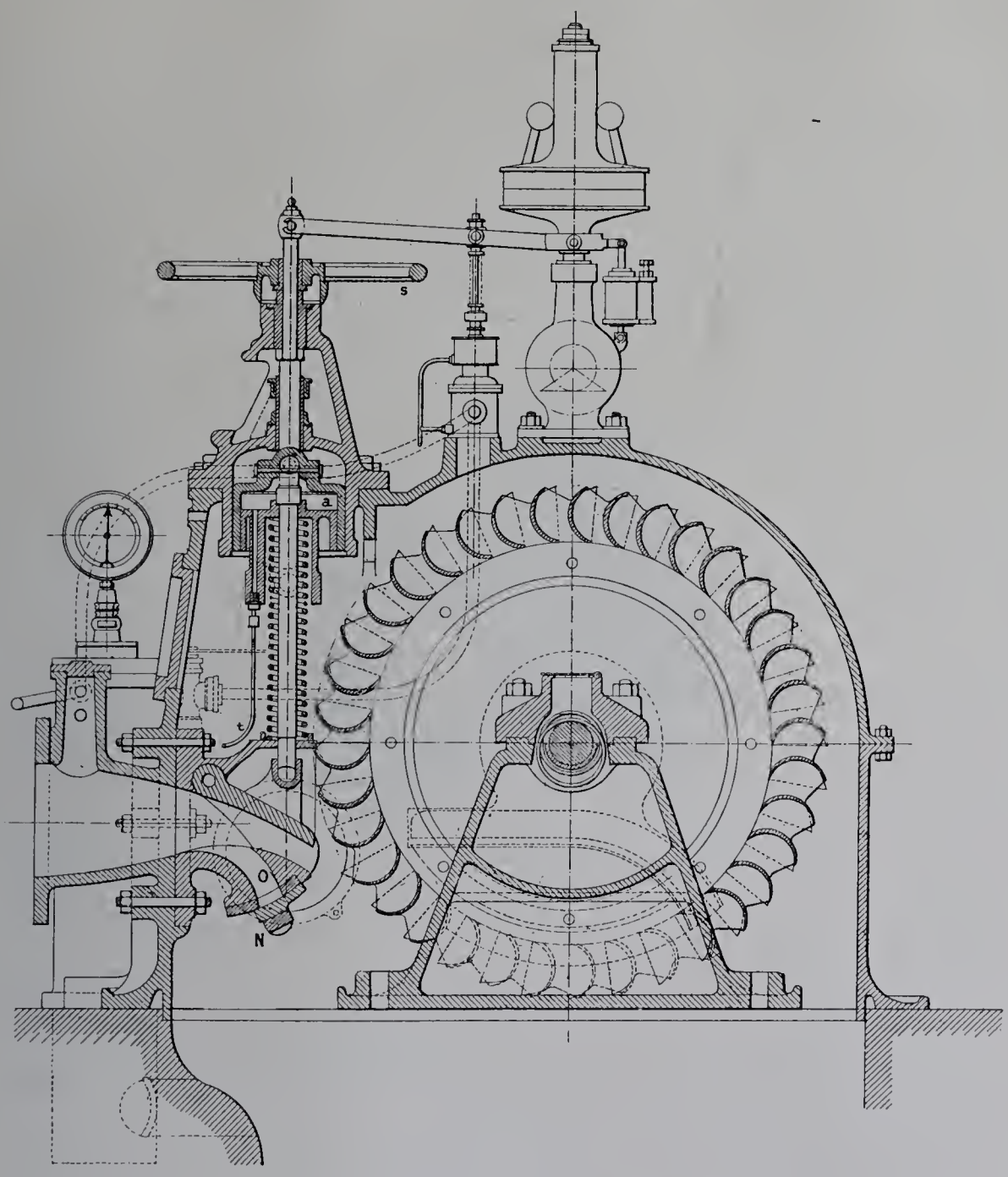


Fig. 188. — Turbine à haute pression de la Société Théo. Bell et Cie.

les organes d'un moteur simple, régulateur automatique de vitesse commun, agissant sur un servo-moteur double avec relais, appareil de réglage de pression, filtre-revolver et robinet-vanne d'admission; cet appareil est constitué, en définitive, par deux turbines accolées permettant de doubler la force sur l'arbre, en conservant la vitesse de rotation d'une turbine simple (fig. 187).

L'organe réellement intéressant de ce système de turbine est le régulateur que nous décrirons plus loin.

La Société Théo. Bell et Cie, de Kriens, nous présente une série de cinq turbines à haute pression de 10 à 500 chevaux.

Comme toutes les turbines modernes à haute pression, ce sont des appareils à action tangentielle, du genre Pelton, sur la roue desquels l'eau arrive par un orifice injecteur qui porte une lèvre mobile que la pression de l'eau tend constamment à ouvrir. Elle est reliée à la tige d'un servo-moteur sur lequel agit la pression de la chute (fig. 188).

La description du régulateur et les détails sur ses rapports avec le fonctionnement de la turbine seront donnés dans le chapitre suivant.

MM. Teisset, Vve Brault et Chapron, de Chartres, exposent une roue-turbine à axe horizontal, genre Pelton, spéciale pour l'utilisation des très hautes chutes et des débits (fig. 189).

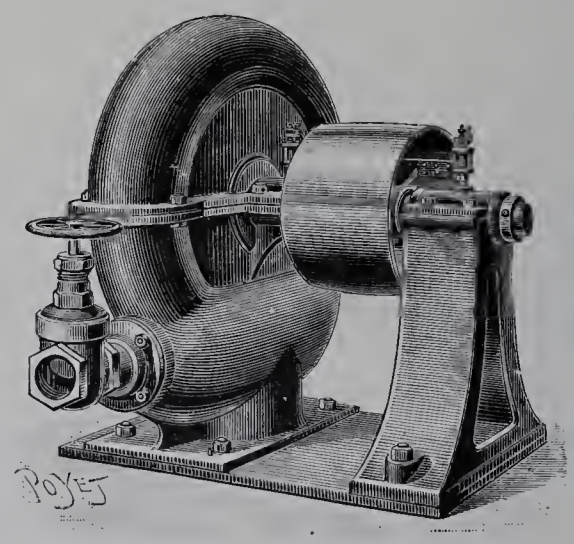


Fig. 189. — Turbine système Pelton de MM. Teisset, Vve Brault et Chapron.

Elle développe une force de 16 chevaux, sous la chute de 200 mètres, avec une vitesse de 2,000 tours par minutes.

Nous avons déjà vu à l'exposition de MM. Singrün frères les détails de construction de ce système de turbines, nous n'y reviendrons donc plus.

La Pelton Water Wheel Company présente trois roues-turbines du système Pelton primitif, dont nous avons déjà donné la description.

C'est une puissante société qui construit spécialement les turbines pour très hautes chutes et faibles débits inventées par son fondateur, mais elle n'expose que des moteurs de petites dimensions.

Il est fort regrettable que cette société n'ait pas fait figurer à l'Exposition de 1900 ses moteurs de grande puissance, dont elle a de nombreuses applications dans le Nouveau-Monde.

Nous terminons l'examen des turbines tangentielles par le *Moteur domestique*, construit à Paris par M. Paolera.

Trois de ces moteurs nous sont présentés; ils se trouvent au premier étage de la galerie de la Classe 20 et actionnent des machines à coudre. L'eau est fournie par la conduite générale de l'Exposition.

Le *Moteur domestique* est une petite roue-turbine, à action, qui utilise la pression de l'eau des conduites municipales, ou d'une source quelconque, pour actionner des machines à coudre ou de petits appareils n'exigeant que très peu de force.

Elle se compose d'une roue motrice à aubes, sur lesquelles un ajutage fixe dirige un jet d'eau dont la force vive imprime au moteur un mouvement de rotation d'autant plus rapide que la pression de l'eau est plus élevée.

La force indiquée par l'exposant pour ces turbinettes est de 7 kilogrammètres et demi pour une pression d'eau de 30 mètres, avec une vitesse de 1,800 tours par minute.

Si nous admettons, pour ces petits moteurs, un rendement de 50 p. 100 de l'énergie théorique, ce qui est un maximum pour une aussi faible puissance et de si petites dimensions, nous trouvons une dépense de 1,800 litres d'eau par heure qui, à raison de 15 centimes par mètre cube, prix moyen de l'eau à Paris, représente une dépense de 27 centimes par heure pour une force de 7 kilogrammètres et demi, soit 2 fr. 70 par cheval-heure.

Ce prix du cheval-heure est évidemment beaucoup trop élevé si on le compare aux conditions auxquelles il peut être fourni électriquement ou par d'autres moyens de distribution connus; aussi l'application de ces petits moteurs doit-elle être limitée aux cas où l'eau est abondante et à bon marché.

C'est, à notre avis, la seule cause qui empêche les moteurs hydrauliques de se répandre dans les villes pour la distribution à domicile de la force motrice.

La turbinette appliquée à la petite industrie est souple, agréable, simple, d'un entretien presque nul, d'un prix peu élevé; ce serait le moteur domestique idéal s'il n'était d'une alimentation onéreuse partout où, comme dans la plupart de nos villes, le prix de l'eau est encore beaucoup trop élevé.

Les modèles de M. Paolera ne présentent aucune particularité, ils sont établis d'après des principes connus.

Turbines centrifuges. — MM. Piccard, Pictet et Cie, de Genève, présentent, dans la Classe des turbines pour hautes chutes, une turbine genre Girard, de 900 chevaux sous la chute de 500 mètres, avec une vitesse de 500 tours par minute, destinée à la Société Walliser Industrie-Gesellschaft (fig. 190).

Cette turbine est du modèle centrifuge classique, à axe horizontal, et attire surtout l'attention par sa construction parfaitement étudiée et bien appropriée; la couronne motrice principalement a dû être établie d'une façon toute particulière, en raison de l'énorme vitesse circonférentielle à laquelle elle est soumise (environ 45 mètres par seconde).

Coulée en fonte, comme pour les turbines de construction courante, la roue est frettée en acier et calculée de manière à ce qu'à la vitesse normale de la turbine, la

résistance de la fonte soit en équilibre avec les efforts de la force centrifuge, et qu'en cas d'emballement accidentel du moteur, les frettes en acier ne soient jamais soumises à un effort de 10 kilogrammes par millimètre carré de section; elle peut ainsi résister à une pression de 700 mètres de hauteur et la sécurité la plus complète est assurée à l'appareil.

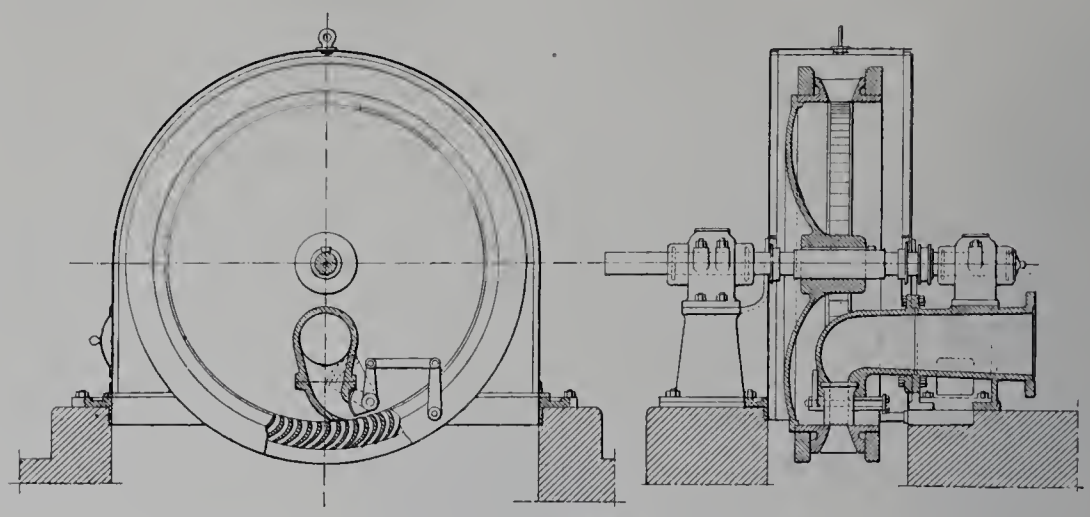


Fig. 190. — Turbine Girard de MM. Piccard, Pictet et Cie.

L'eau est amenée sur la roue mobile par un tuyau de 0 m. 35, situé dans le même plan que l'arbre moteur, et se terminant par un injecteur devant lequel se meut un tiroir circulaire de réglage soumis à l'action d'un régulateur servo-moteur à déclic et friction.

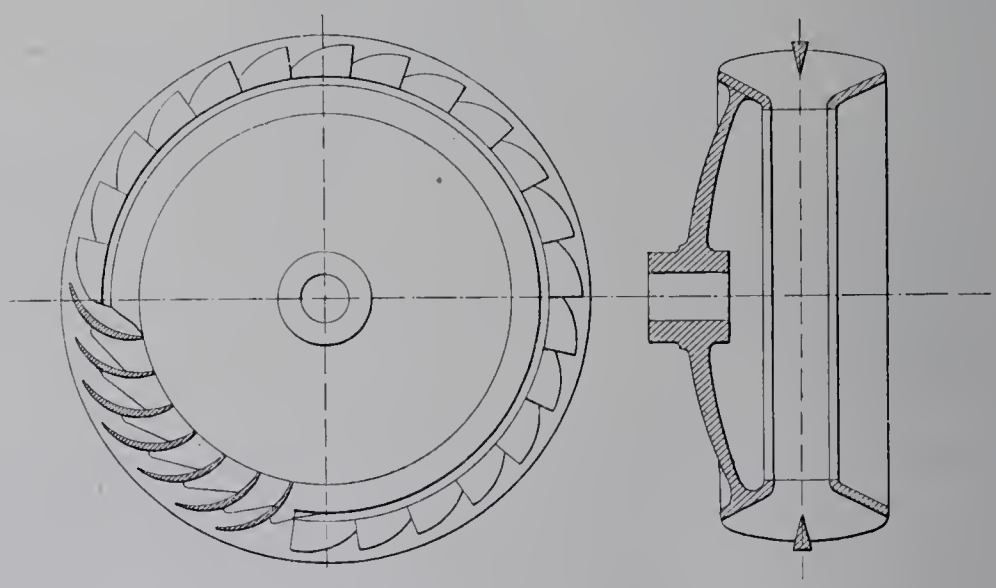


Fig. 191. — Petite turbine Piccard, Pictet et Cie, pour installation de villes.

Cet injecteur ne contient intérieurement aucun organe mobile. Le tiroir obturateur pivote autour d'un axe situé hors de l'eau, et qui est graissé en marche; il se manœuvre avec facilité malgré la forte pression de l'eau.

La forme de l'injecteur est telle que la direction de la veine liquide qui s'en échappe est constante quelle que soit la position du vannage; il en résulte que le rendement reste très sensiblement le même pour des débits fort différents.

Enfin les parties de l'injecteur et du tiroir susceptibles d'usure peuvent être remplacées facilement et à peu de frais.

Nous remarquons ensuite la roue motrice d'une petite turbine centrifuge employée pour les installations à domicile dans les villes qui possèdent une distribution de force par de l'eau sous pression.

Cette turbine fait 50 chevaux, alimentée par l'eau à 130 mètres de pression de la ville de Genève.

L'aubage est à godets doubles et arête médiane, genre Pelton, des turbines tangentielles (fig. 191).

Enfin nous terminons l'examen des turbines hydrauliques par la société Jacob Rieter et Cie, de Winterthur (Suisse) qui présente une petite turbine à admission partielle et libre déviation, d'une force de 29 chevaux sous la chute de 700 mètres, accouplée directement à une dynamo faisant environ trois mille tours par minute.

Cette turbine est du système Girard classique.

II. RÉGULATEURS.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES RÉGULATEURS POUR TURBINES HYDRAULIQUES.

Les régulateurs automatiques de vitesse sont devenus des appareils à peu près indispensables aujourd'hui pour les installations dans lesquelles les turbines actionnent des générateurs d'électricité qui exigent, en général, une grande régularité de marche; aussi trouvons-nous, à l'Exposition de 1900, de nombreuses et très curieuses machines de ce genre, dont beaucoup sont d'une ingéniosité et d'une précision absolument remarquables.

Ces appareils peuvent se diviser en deux catégories :

Les régulateurs agissant directement sur la vanne des turbines pour réduire plus ou moins la section d'admission de l'eau sur les moteurs;

Les régulateurs-freins qui absorbent l'excédent de force non utilisée par la turbine sont sans action sur la vanne qui reste toujours ouverte pour développer, en tout temps, la force totale du moteur.

Les régulateurs de la première catégorie sont soit à action mécanique, soit hydraulique ou même hydro-mécanique.

Les régulateurs à action purement mécanique peuvent se placer partout, sous toutes les chutes et pour tous les moteurs; ils n'exigent pour leur fonctionnement aucune pression artificielle ou naturelle.

Leur action est sûre, puissante, mais elle est, en général, beaucoup moins rapide que celle des appareils hydrauliques et ils ont, en outre, l'inconvénient d'agir presque

constamment sur le vannage, s'ils sont sensibles, et d'amener une prompte usure des organes obturateurs.

Les régulateurs hydrauliques agissent beaucoup plus rapidement, sont d'une grande sensibilité lorsqu'ils sont bien étudiés et convenablement établis; ils permettent de maintenir la vitesse à un degré de constance très grand, puisque les variations en plus ou en moins de la vitesse de régime arrivent à ne pas dépasser 1 à 3 p. 100, même pour des turbines de plusieurs milliers de chevaux.

Par contre, ils sont, en général, d'une construction délicate, d'un prix élevé, et exigent, si la pression naturelle de la chute n'est pas suffisante, une pompe accessoire pour produire la pression artificielle nécessaire à leur fonctionnement, ce qui est toujours une complication et augmente l'entretien.

De plus ils ne sont pas toujours à l'abri des gelées, et, dans les pays froids, des précautions particulières sont à prendre pendant l'hiver.

Les régulateurs hydro-mécaniques d'invention récente que nous trouvons au Champ-de-Mars ont les avantages et les inconvénients des deux premiers systèmes, mais leur action est plus rapide et plus douce que celle des régulateurs purement mécaniques, leur sensibilité est plus grande.

Les régulateurs de la deuxième catégorie, les appareils à frein sont, en général, très sensibles, lorsqu'ils sont de bonne construction, mais ils ont le grave inconvénient de faire absorber à la turbine un volume d'eau constant, quelque minime que soit la force qu'on lui demande; ils n'économisent donc pas l'eau et ne trouvent, par conséquent, une application rationnelle que dans les cas où celle-ci est suffisamment abondante.

Les régulateurs-freins sont, en outre, encombrants et d'un prix souvent si élevé qu'il dépasse quelquefois celui du moteur lui-même, et qu'on préfère sacrifier à la régularité ou à l'entretien en adoptant des dispositions moins coûteuses.

Ces appareils ne conviennent guère que pour des forces de 200 chevaux au maximum; pour des puissances supérieures, leurs dimensions deviendraient exagérées, et leur prix inabordable dans la pratique.

Les régulateurs exposés sont au nombre de 47 dont :

17 à action purement mécanique,

23 à servo-moteur hydraulique,

2 hydro-mécaniques,

5 régulateurs-freins.

Régulateurs mécaniques. — MM. Singrün frères, d'Épinal, exposent un régulateur automatique de vitesse à double effet applicable à tous systèmes de turbines (fig. 192).

Ce régulateur se compose des organes principaux suivants :

Un pendule centrifuge à boules;

Une tige dentée centrale;

Un levier coudé;

Un disque échancré;

Un engrenage à cliquets;

Quatre cliquets.

Les tiges, de longueur réglable, sur lesquelles sont fixées les boules, sont articulées et se prolongent chacune par un secteur denté qui engrène avec la partie, dentée également, de la tige, laquelle glisse verticalement dans le fourreau de la colonne qui porte le pendule.

A la partie inférieure, cette tige s'appuie sur le levier dont l'extrémité opposée porte un secteur denté correspondant à un pignon fixe coulé d'une pièce avec le disque échancré.

Un excentrique fixé sur l'arbre actionne deux leviers qui impriment aux quatre cliquets un mouvement continu de va-et-vient.

Un contrepoids ramène le disque à la position d'ouverture lorsque le régulateur est arrêté.

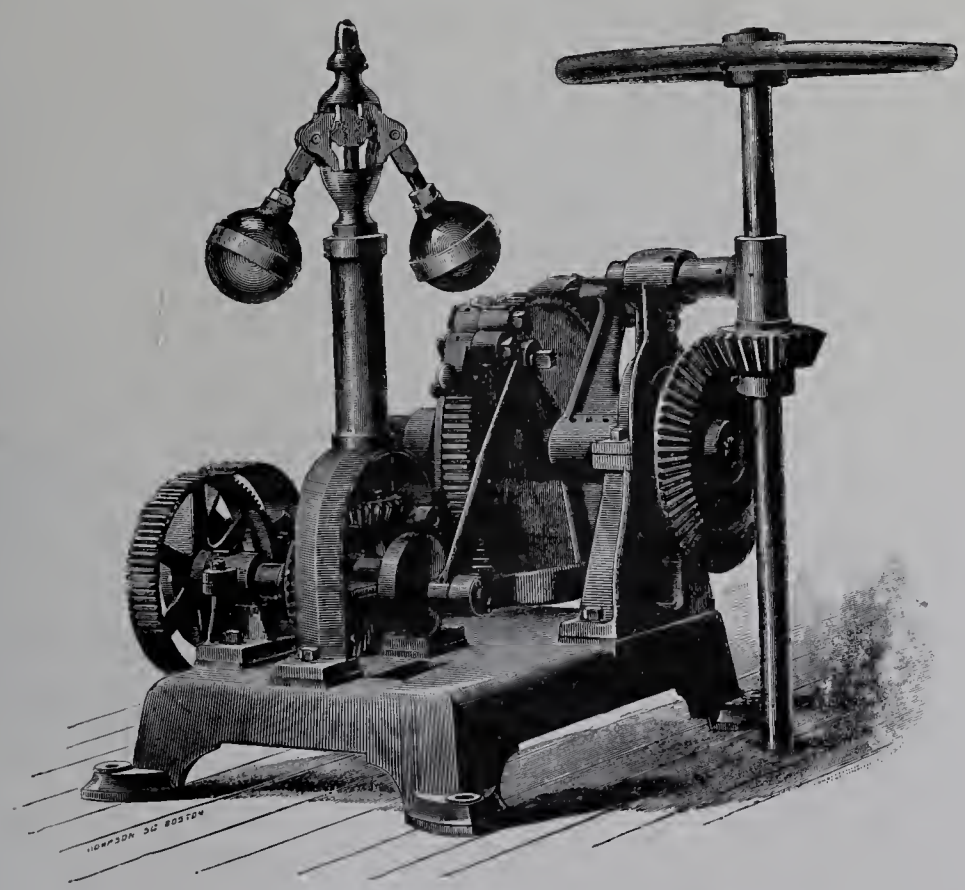


Fig. 192. — Régulateur mécanique à double effet de MM. Singrün frères.

Un engrenage portant un taquet reçoit son mouvement de rotation d'un petit pignon par l'intermédiaire de l'engrenage dont le diamètre est calculé de manière que, pour une course donnée du taquet, l'arbre fasse le nombre de tours voulus pour ouvrir en plein la vanne de la turbine qu'il s'agit de régler.

Enfin un levier permet de ramener à la main le disque dans sa position moyenne pour arrêter l'action du régulateur, et lorsqu'on veut manœuvrer la vanne pour la mise en marche ou l'arrêt du moteur.

L'appareil est commandé par la turbine qui transmet son mouvement à la poulie et aux engrenages, lesquels communiquent leur mouvement de rotation à la tige et aux boules du régulateur.

Lorsque la vitesse de la turbine est normale, la tige maintient le disque dans sa position moyenne, l'échancrure se présente au milieu, les cliquets opèrent à vide leur mouvement de va-et-vient.

Si la vitesse diminue, les boules baissent, la tige est soulevée, le levier monte également sous l'action du contrepoids, et entraîne le disque dont l'échancrure vient se placer en face d'un cliquet, en même temps qu'un autre cliquet prend également contact avec l'engrenage.

Ces deux cliquets, n'étant plus suspendus par le disque, tombent et poussent l'engrenage vers l'avant, continuant leur action jusqu'au moment où, le régulateur ayant repris sa vitesse normale, le disque est ramené à sa position moyenne par le levier.

Dans son mouvement de rotation l'engrenage fixé sur l'arbre entraîne ce dernier qui agit sur la vis sans fin pour ouvrir la vanne de la turbine.

Si, au contraire, la vitesse augmente, les boules s'écartent, l'échancrure du disque est amenée sur le côté arrière, et ce sont les deux autres cliquets qui poussent l'engrenage dans le sens de la fermeture de la vanne.

Il peut arriver que la turbine, étant accouplée à un autre moteur, soit entraînée par ce dernier, et que le régulateur, si on oublie de le débrayer, agisse encore sur la vanne dans un sens ou dans l'autre lorsqu'elle est arrivée à fond de course. À ce moment, le mécanisme serait brisé si un taquet n'intervenait pour ramener automatiquement le disque dans sa position moyenne, l'action du pendule étant reprise automatiquement aussi dès que la cause qui a produit le déclenchement a cessé.

Puis nous trouvons un régulateur de même construction que le précédent, à simple effet, moins compliqué, par conséquent moins cher, mais dont l'action, suffisante dans bien des cas, est cependant moins rapide que celle de l'appareil à double effet.

MM. Piccard, Pictet et Cie, de Genève, soumettent au Jury international six régulateurs à action mécanique qui comprennent :

Trois régulateurs servo-moteurs à déclic pour vannages légers (fig. 193 et 194);

Trois régulateurs servo-moteurs à déclic et friction pour vannages lourds (fig. 195 et 196).

Tous ces appareils sont du système Piccard.

Les régulateurs à déclic pour vannages légers dont un modèle se remarque placé sur une turbine à axe horizontal de la figure 194, se composent d'un pendule centrifuge B, que certains auteurs dénomment maintenant *tachymètre,* qui agit, par l'intermédiaire d'un système de leviers et de cliquets, sur une crémaillère dentée CD à laquelle est relié le vannage de la turbine.

Un excentrique E, actionné par le moteur, fait osciller la pièce FH′ autour de l'arbre G sur lequel elle est libre.

Cet arbre porte encore une roue à rochets L solidaire avec un pignon N, qui engrène avec la tige CD formant crémaillère.

La pièce FH′ porte les tourillons I et I′ de deux cliquets ou chiens symétriques K et K′ qui agissent en sens opposé sur la roue L. Ces cliquets sont munis des doigts *b* et *b′* qui peuvent s'engager dans les crochets *d* et *d′* que forme l'extrémité des ressorts *c* et *c′*.

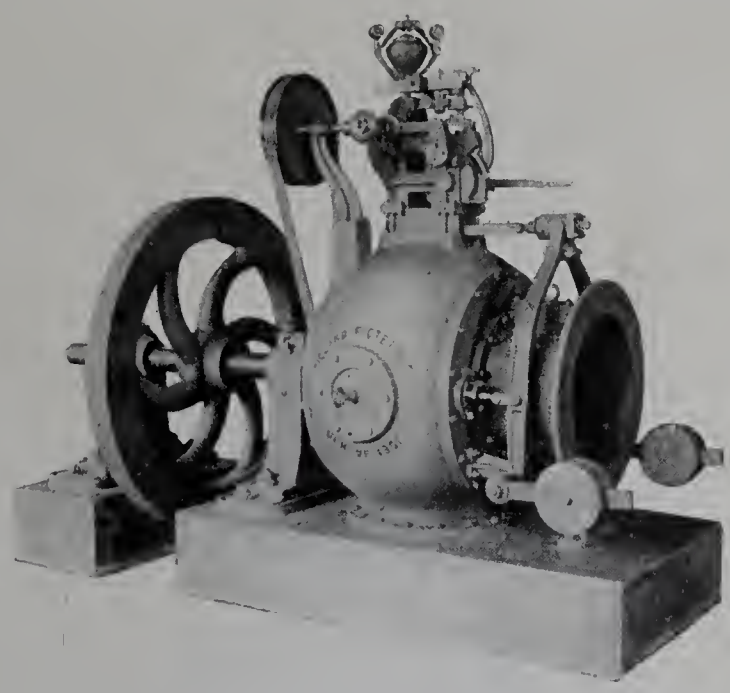


Fig. 193. — Régulateur mécanique Piccard pour vannages légers.

Pour comprendre le fonctionnement de l'appareil, supposons que le cliquet K, par exemple, libéré de son ressort de suspension *c*, par une cause quelconque, vienne s'appuyer sur la roue L, comme c'est représenté à la figure 194. Lorsque la pièce FH′ se meut dans le sens de la flèche *a*, le cliquet K entraîne la roue L de gauche à droite; mais lorsque la pièce FH′ chemine en sens contraire, le cliquet K est soulevé par les dents de la roue L et son doigt *b* vient se crocher au ressort de suspension.

Lorsque les cliquets ont été abaissés pour une cause quelconque, ils tendent toujours à se raccrocher par leur propre mouvement aux ressorts de suspension, position dans laquelle ils sont sans action sur la roue à rochet.

Tandis que le mécanisme tend constamment à se débrayer, il faut l'intervention d'une cause extérieure pour l'embrayer.

Cette cause est soumise à l'action du régulateur, c'est-à-dire du pendule, qui agit sur le mécanisme au moyen d'un butoir ou came M placée entre les deux ressorts *c* et *c′*. Cette came M, qui est déplacée à gauche ou à droite par le pendule, est sans action sur le mécanisme lorsqu'elle est dans sa position médiane, c'est-à-dire quand le manchon du régulateur est dans sa position moyenne, que, par conséquent, la vitesse du moteur est normale; mais aussitôt que cette vitesse change, le manchon se déplace, entraîne la came, l'un ou l'autre des cliquets K ou K′ est libéré, et l'embrayage se produit dans le sens sollicité par le régulateur.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Supposons, en effet, que la came M se soit déplacée à droite, comme c'est représenté sur la figure 194. Dans ce cas le ressort *c* viendra, en oscillant, toucher la came M, ce qui libérera le doigt *b* et provoquera la chute du cliquet K, c'est-à-dire l'embrayage de gauche à droite de la roue L.

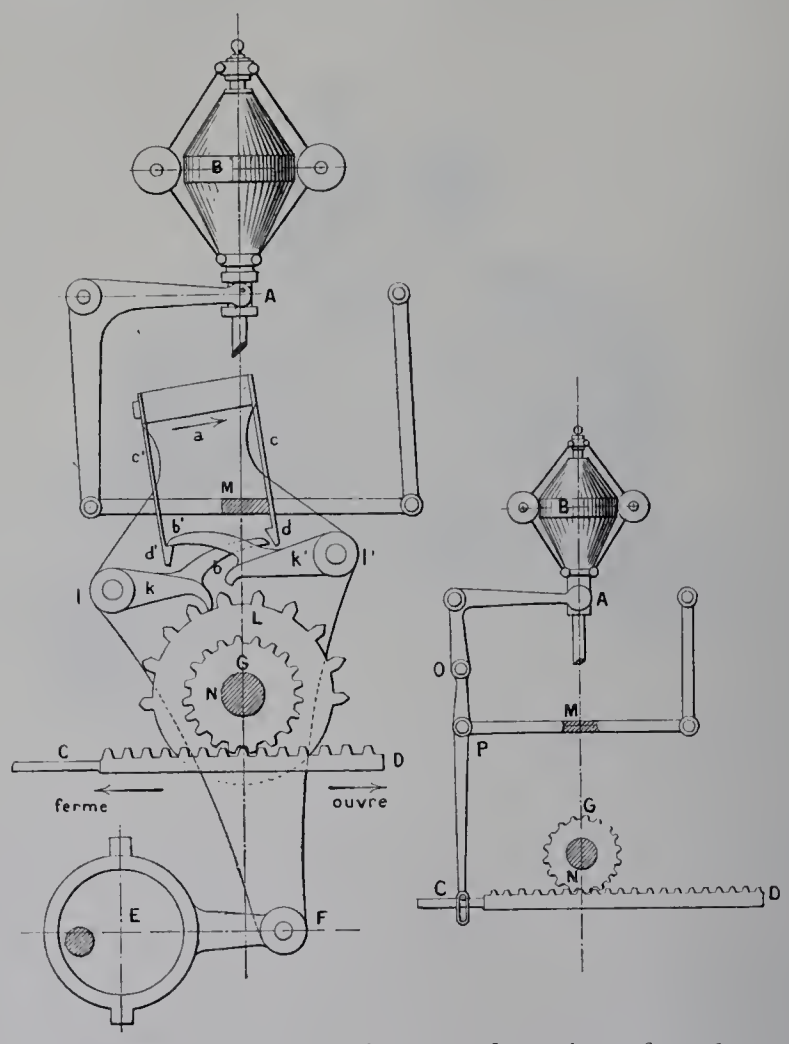


Fig. 194. — Schéma du fonctionnement du régulateur fig. 193.

L'embrayage durera aussi longtemps que le déplacement *d* de la came M, mais dès que celle-ci reviendra en son milieu, le mouvement cessera puisque le cliquet se recrochera et restera suspendu à son ressort *c*.

Ce dispositif permet de remplir au plus haut degré les conditions indispensables pour obtenir un bon réglage du moteur, c'est-à-dire :

Effort demandé au régulateur, pour produire l'embrayage très faible;

Force maximum transmise à l'organe de réglage de la turbine ;

Action de l'embrayage aussi rapide que possible.

L'effort demandé au régulateur est, en effet, presque nul et les ressorts *c* et *c'* peuvent, sans inconvénient, être très faibles.

La puissance transmise à la tige CD est presque illimitée parce que les cliquets s'engagent toujours à fond dans la roue à rochets, l'action du déplacement de la came est très rapide.

Ce système de régulateurs est déjà appliqué à de nombreuses turbines, sa sensibilité est très grande, et il jouit d'une excellente réputation.

Nous passons aux régulateurs à déclic et friction pour vannages lourds de la même maison.

Un tachymètre R provoque, sans effort sensible, par l'intermédiaire d'un mécanisme que nous allons décrire et d'un double manchon d'embrayage DD′, l'embrayage dans un sens ou dans l'autre, ou bien le débrayage de l'arbre AB qui fait mouvoir l'organe de réglage du moteur, qui peut être quelconque.

L'arbre C, mû par le moteur dans un seul sens, peut communiquer à l'arbre AB un mouvement dans un sens ou dans l'autre au moyen des trois roues coniques H I et I′ et de deux manchons d'embrayage à friction D et D′.

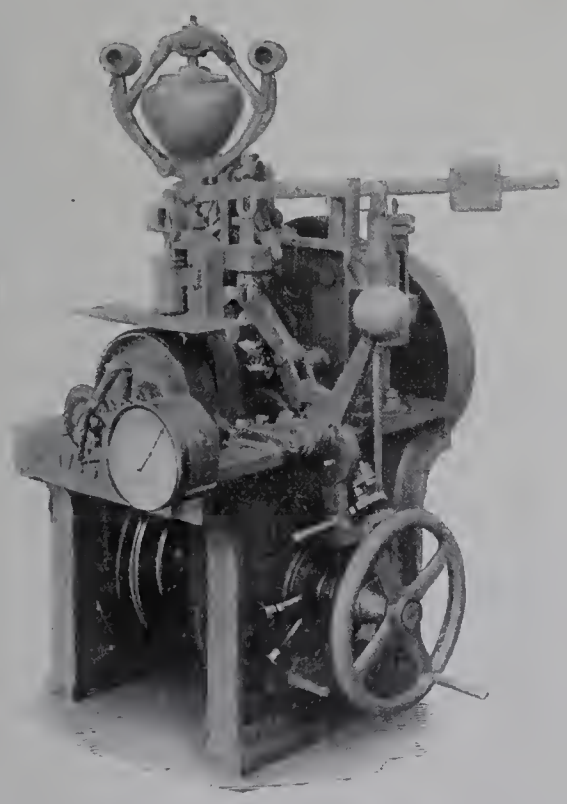


Fig. 195. — Régulateur mécanique Piccard pour vannages lourds.

Ce mécanisme d'embrayage étant connu et déjà très employé, nous ne le décrirons pas davantage.

Les deux manchons à friction D et D′ sont commandés par l'intermédiaire des leviers EF et E′F′ au moyen d'une tringle FF′ qui reçoit son mouvement au point J du mécanisme que nous allons décrire.

Ce mécanisme se compose d'une pièce K qui oscille autour de l'axe L et d'une pièce M qui peut osciller autour de l'axe N.

La pièce K, qui porte un tourillon O, est actionnée par la tige PO de l'excentrique ou manivelle P. Cet excentrique, mû par le moteur, communique à la pièce K un mouve-

ment oscillatoire continuel. En outre, cette pièce K est munie de quatre petits tourillons *b b'* et *d d'*.

Les deux premiers *b* et *b'* portent les deux cliquets *a* et *a'* munis des queues *e* et *e'*; les deux autres *d* et *d'* portent les deux arrêts *c* et *c'* avec touches *g* et *g'*.

Les queues *e* et *e'* des cliquets viennent s'engager contre les crochets ou saillies des arrêts *c* et *c'* comme le montre la figure 196.

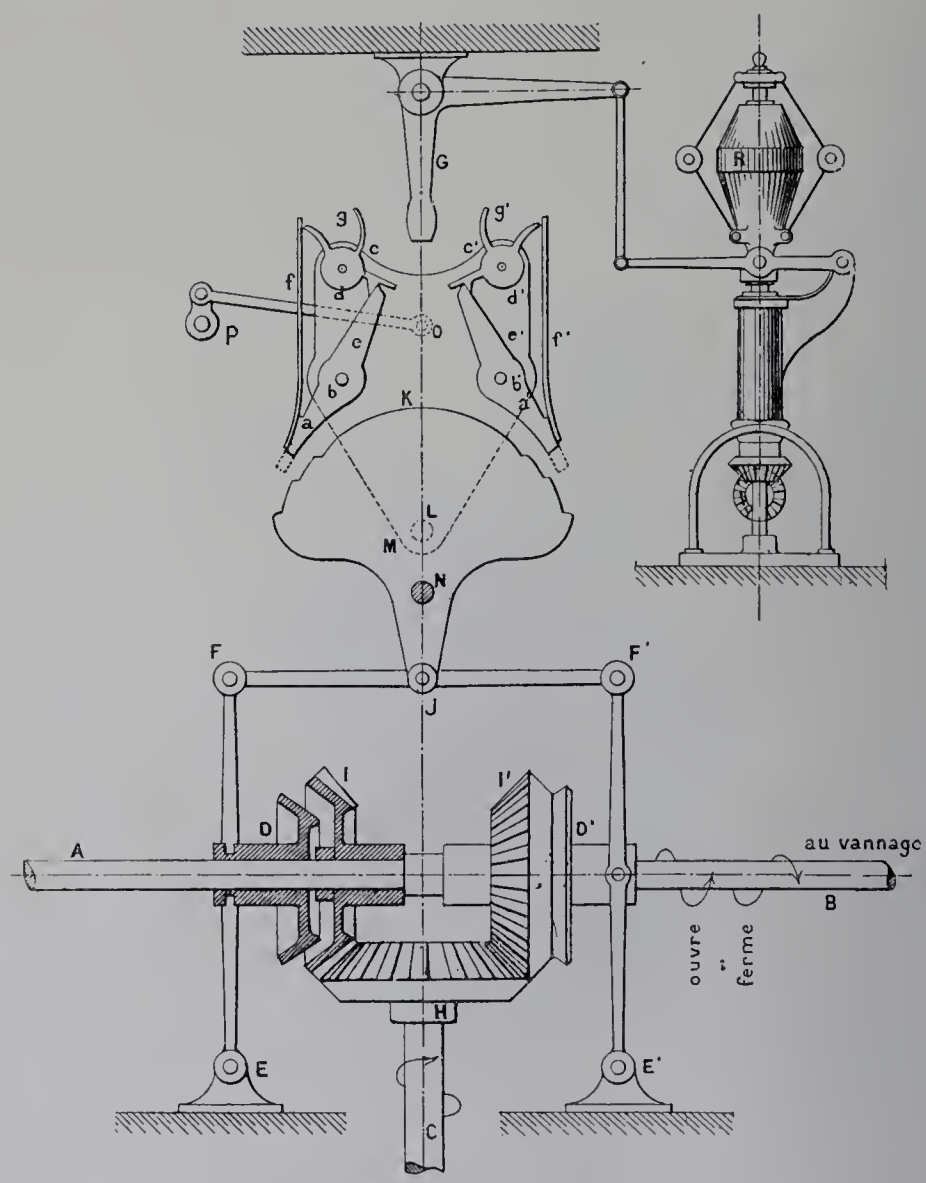


Fig. 196. — Schéma du fonctionnement du régulateur, fig. 195.

Deux petits ressorts *f* et *f'* fixés aux cliquets maintiennent les queues appuyées contre les arrêts *c* et *c'*, aussi longtemps qu'une cause extérieure ne vient pas les dégager.

La pièce ou secteur M est munie de trois dents de chaque côté, dont la face extérieure est formée par un arc de cercle qui a pour centre l'axe L. Lorsque les queues des cliquets sont engagées dans les arrêts *c* et *c'*, comme l'indique la figure 196, les cliquets sont sans action sur le secteur denté L, car leur oscillation les amène dans leur position extrême indiquée en pointillé.

Les touches g et g' des arrêts c et c' ont aussi leur position extrême d'oscillation indiquée en pointillé, et si rien ne vient les arrêter dans leur course le mécanisme reste indéfiniment inactif.

Mais entre ces touches g et g' le tachymètre R peut déplacer, au moyen de leviers disposés comme le représente la figure 196, le taquet G qui sort ainsi de sa position médiane; l'une ou l'autre des touches g et g' vient le heurter, soulève l'arrêt c ou c', et libère ainsi l'un des cliquets qui vient tomber sur le secteur M par l'action du ressort f. Au moment où le cliquet est libéré, il est dans sa position extrême en arrière ; en retournant en avant il entraîne la dent qui se trouve devant lui, fait osciller la pièce M et provoque ainsi le serrage de l'un des manchons à friction. Ce serrage produit à son tour l'ouverture ou la fermeture de l'organe de réglage, suivant que c'est le cliquet a ou a' qui a été libéré. Le serrage du manchon dure jusqu'à ce que le taquet G, se déplaçant en sens opposé, vienne libérer l'autre cliquet qui ramènera le secteur M dans sa position médiane où les deux manchons sont desserrés.

Il est à remarquer, enfin, que pendant que l'un des cliquets, a par exemple, est engagé avec une dent du secteur M, son extrémité suit, pendant son mouvement en avant, un arc de cercle qui n'a plus L pour centre, mais bien le point N. Cette excentricité de mouvement du bec du cliquet a pour effet de le soulever, et de faire revenir la queue e en prise avec l'arrêt c.

Chaque fois qu'un des cliquets a été libéré, il revient donc de lui-même se renclencher dans son arrêt jusqu'à ce que le taquet G le libère de nouveau.

Nous trouvons ensuite un régulateur servo-moteur mécanique breveté, à déclic, de la Société Théodore Bell et Cie, de Kriens (Suisse).

Un tambour à denture hélicoïdale, commandé par une courroie, est muni, à droite et à gauche, de trois cliquets d'entraînement qui portent sur leurs axes, en dehors du tambour, de petits leviers de déclenchement. Le tambour est traversé par un arbre mobile de réglage sur lequel est clavetée une roue à rochets qui porte, fixé sur son moyeu, un pignon d'angle ; un arbre creux fixe est pourvu, à son extrémité, de deux pivots, l'un portant un pignon d'angle, l'autre portant un rouleau de butée pour le déclenchement des cliquets après chaque rotation.

Ce même arbre creux porte une deuxième roue à rochets sur laquelle est fixé un troisième pignon d'angle.

Ces trois pignons, avec les deux roues à rochets, produisent ensemble le mouvement à droite ou à gauche de l'arbre de réglage suivant qu'un butoir de droite ou de gauche est déclenché.

Un anneau mobile placé entre les deux séries de cliquets d'entraînement empêche que deux cliquets de sens opposés ne viennent à entrer en fonction en même temps.

Le tambour, faisant 60 tours par minute, produit $3 \times 60 = 180$ encliquetages pendant cette période de temps, et il faut dix à vingt-cinq secondes pour opérer la fermeture.

Le mouvement de l'arbre de réglage est relié à celui du pendule à ressort par un relais mécanique.

Le pendule est actionné par une courroie indépendamment de la commande du servomoteur.

La Société Jacob Rieter et Cie, de Winterthur (Suisse), expose six régulateurs à action mécanique.

Les trois premiers sont du modèle mural.

Le pendule porte une came qui, en suivant les mouvements du manchon, déplace une courroie sur l'une ou l'autre des poulies fixes placées de chaque côté de la première pour faire tourner, soit à droite, soit à gauche, par l'intermédiaire d'un jeu d'engrenages cônes, un arbre relié au mécanisme qui commande la vanne de la turbine.

Ce système, connu depuis longtemps déjà et appliqué, sous différentes formes, par beaucoup de constructeurs, est d'une très grande simplicité, mais il est absolument incapable de maintenir la vitesse du moteur dans les limites exigées par les machines modernes, et sa puissance est limitée à la force d'adhérence de la courroie, ce qui est insuffisant pour les vannages un peu lourds.

Nous trouvons ensuite trois régulateurs de précision à action mécanique disposés spécialement pour l'application des turbines à l'électricité.

Le mouvement à droite ou à gauche est obtenu par une courroie et des poulies folles et fixes, comme dans les régulateurs précédents, mais l'appareil agit sur l'organe du vannage par l'intermédiaire d'un jeu d'engrenages qui lui assure une grande puissance et une sensibilité que ne peuvent avoir les régulateurs simples. Dans ce modèle, la vitesse peut en effet être maintenue dans les limites de 1 à 3 p. 100 de celle normale.

L'appareil est muni d'un relais mécanique qui limite les oscillations du pendule et le ramène à sa position moyenne après chaque oscillation. De plus une cataracte à vitesse réglable empêche les mouvements trop brusques du système.

Ces appareils sont bien étudiés et bien construits.

MM. Royer et Joly, d'Épinal, ont placé, sur la turbine parallèle à axe horizontal de 100 chevaux, un régulateur automatique de vitesse à pendule centrifuge qui agit sur le vannage par l'intermédiaire d'une came et déplace une courroie sur des poulies fixes et folle, comme dans le système Rieter. L'arbre de commande du régulateur imprime, en outre, à deux galets un mouvement vertical alternatif continu qui ramène la courroie sur la poulie folle après chaque oscillation du pendule.

Cette disposition mécanique est très ingénieuse et réalise un progrès certain sur les anciens régulateurs basés sur le déplacement d'une courroie.

Le régulateur qu'exposent MM. Laurent frères et Collot, de Dijon, est ainsi composé :

Un pendule centrifuge monté sur une colonne en fonte (fig. 197) agit, par l'intermédiaire d'un balancier équilibré, sur une tringle verticale pour embrayer ou débrayer deux manchons à friction fixés sur un arbre qu'actionne une paire d'engrenages d'angle commandée par la transmission de la turbine. Cet arbre porte également deux pignons

dentés qui engrènent avec une roue commune calée sur l'extrémité d'un arbre horizontal, dont l'autre bout porte le volant de manœuvre à la main.

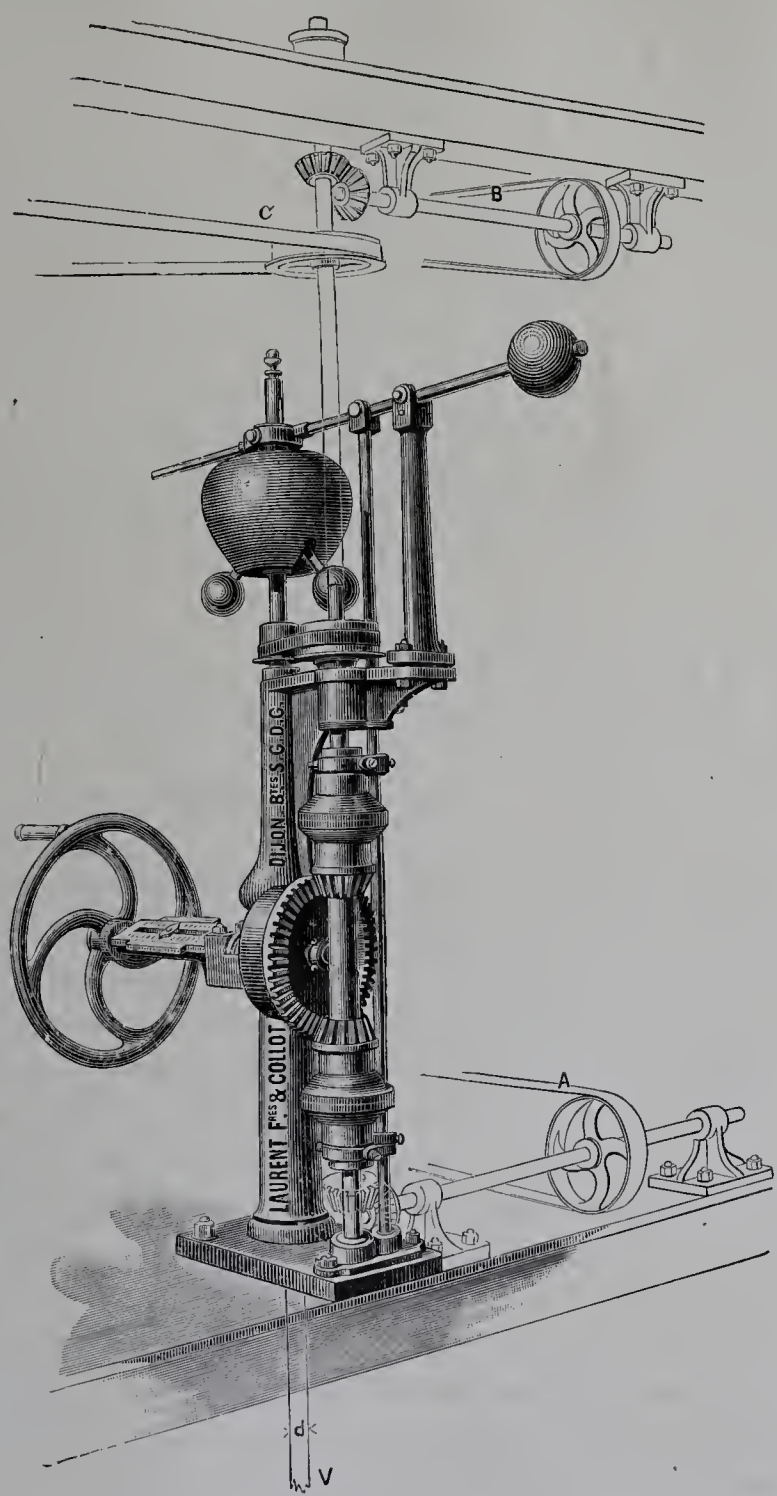


Fig. 197. — Régulateur mécanique Laurent et Collot.

L'arbre porte-manchons reçoit son mouvement de rotation de celui du pendule par poulie et courroie.

Des ressorts en spirale garnis de cuir et reliés aux cônes de friction, entraînent, en s'enroulant ou en se déroulant, l'un ou l'autre des pignons dentés, fous sur leur arbre,

dès que les cônes prennent contact avec les manchons; ils impriment à la roue un mouvement de rotation dans un sens ou dans l'autre suivant que c'est le manchon supérieur ou celui du bas qui a pris contact, en le communiquant à l'arbre vertical de commande du vannage de la turbine par l'intermédiaire d'une vis sans fin.

L'arbre porte-volant est muni d'un index gradué indiquant à chaque moment le degré d'ouverture de la vanne.

Un frein de sûreté réglable, à ressort, limite la résistance de la vanne aux extrémités de sa course et évite la rupture des organes au cas où cette résistance deviendrait trop importante.

Cet appareil permet d'actionner des vannages relativement lourds, sa puissance étant toutefois limitée à la tension, par conséquent à l'adhérence, de la courroie de commande; son action est rendue progressive sous l'effort graduel des ressorts en spirale; mais nous n'y trouvons aucun dispositif limitant les oscillations du pendule, par conséquent les variations de vitesse, comme dans la plupart des régulateurs modernes.

Régulateurs à servo-moteur hydraulique. — Dans cette catégorie, le premier appareil que nous remarquons est exposé par MM. Singrün frères, d'Épinal, qui l'appliquent à la turbine «Excelsior» de 25 chevaux sous la chute de 100 mètres, dont nous avons donné la description dans le chapitre des turbines.

Le pendule centrifuge, du type Porter, agit par l'intermédiaire d'un jeu de leviers sur un secteur denté que porte l'extrémité de l'axe d'un papillon placé en avant du robinet d'admission de l'eau sur la turbine.

Pour donner au régulateur la puissance suffisante pour vaincre la résistance que présente le mouvement du papillon sous la pression de 100 mètres de hauteur, ces exposants intercalent entre le pendule et le papillon un servo-moteur hydraulique qui permet de disposer d'une force d'environ 1,000 kilogrammes, mais qui pourrait être beaucoup plus considérable et qui assure la concordance entre la section d'admission de l'eau sur le moteur et les mouvements du régulateur, malgré les fluctuations de la charge et les à-coups qui pourraient se produire dans les conduites par suite des brusques variations de la force.

Le servo-moteur hydraulique se compose d'un piston différentiel qui joue dans un cylindre vertical recevant, d'une façon constante, la pression naturelle de la chute par le robinet A dans l'espace annulaire B, et s'appuie contre le couvercle supérieur du cylindre garni d'un disque en caoutchouc pour amortir les chocs.

Au centre, un tiroir cylindrique équilibré, actionné par le pendule, distribue l'eau sur l'une ou l'autre des faces du piston servo-moteur.

La figure 198 montre le tiroir dans sa position moyenne, la vitesse du régulateur, par conséquent celle de la turbine, étant normale; mais supposons que, par suite d'une accélération de vitesse, le manchon du tachymètre s'élève, la tige et le tiroir reliés à l'extrémité opposée du levier s'abaissent, l'orifice supérieur C se découvre, l'eau de B

passera en D et, en raison de la différence des surfaces, fera baisser le piston servo-moteur qui agira sur le levier du papillon dans le sens de la fermeture.

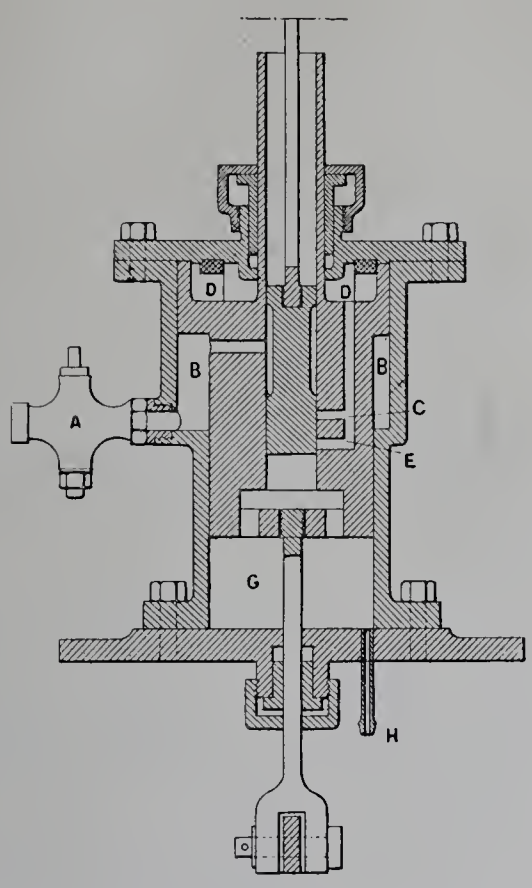


Fig. 198. — Cylindre et distributeur du régulateur à servo-moteur hydraulique.

Mais en baissant, le piston a recouvert à nouveau l'orifice C, le mouvement de descente a été arrêté, et il faut un nouvel abaissement du pendule pour provoquer une nouvelle action du régulateur.

Le mouvement inverse se produit par l'orifice E lorsque la vitesse, au lieu d'augmenter, diminue : l'eau qui sort de l'espace D s'écoulera dans G, et s'évacuera par le tuyau H.

La Société Escher Wyss et Cie, de Zurich, expose une belle collection de onze régulateurs hydrauliques de différents modèles que nous allons examiner.

Le premier appareil de ce genre est un régulateur servo-moteur mû par l'huile sous pression, adapté à la turbine de 2,500 chevaux pour les usines « Isarwerk » de Munich.

Il agit, par l'intermédiaire d'un jeu de bielles, sur deux manivelles qui impriment au cercle mobile du vannage Zodel le petit mouvement de rotation qui règle la section des orifices distributeurs.

Le servo-moteur se compose d'un piston différentiel soumis constamment à la pression de l'huile que fournit une pompe spéciale commune à toutes les unités; son action maintient toujours une des vannes de la turbine double fermée, l'autre ouverte.

Aussi longtemps que la force développée par le moteur est suffisante, l'une des tur-

bines seule fonctionne; le régulateur n'intervient qu'en cas d'emballement, ou de diminution de la vitesse par suite de l'augmentation de la résistance.

Si la charge diminue, l'arrière du piston communique avec l'échappement, tandis que la pression sur la face opposée le pousse dans le sens de la fermeture de la vanne de l'une des turbines; mais dans ce mouvement, une came placée sur le prolongement de l'axe du piston soulève une tige reliée au pendule et ramène le tiroir distributeur à sa position moyenne; le mouvement cesse, il faut un nouveau déplacement du manchon du tachymètre pour provoquer une nouvelle fermeture de la vanne.

Lorsque au contraire la force qu'on demande au moteur augmente, ou bien quand la chute diminue à la suite de crues, le régulateur agit en sens opposé, l'huile pousse le piston pour ouvrir le vannage de la seconde turbine et faire absorber au moteur un volume plus grand, en rapport avec la force demandée; l'équilibre est rétabli.

La came ramène encore le tiroir distributeur dans sa position moyenne et fait cesser le mouvement jusqu'à ce qu'une nouvelle oscillation du pendule vienne déterminer un nouveau mouvement d'ouverture.

Quatre autres régulateurs servo-moteurs hydrauliques sont appliqués à diverses turbines avec bâche en spirale; ils sont à axe vertical et fonctionnent de la même manière que le modèle à pression d'huile que nous venons de voir, mais l'action n'a lieu que sur la roue motrice unique que comporte ce système de moteurs. Ces appareils agissent sous la pression naturelle de l'eau de la chute qui a préalablement traversé un filtre-revolver dont nous parlerons dans les régulateurs pour turbines à haute pression.

La turbine de 1,000 chevaux de l'usine de Saint-Maurice (Valais) munie du vannage Zodel est pourvue d'un régulateur hydraulique combiné avec un appareil électrique.

Nous arrivons ensuite aux régulateurs pour turbines à haute pression.

Ce modèle de régulateur est toujours placé sur l'enveloppe même de la turbine.

Le réglage se fait par un injecteur D, muni d'une lèvre mobile L qui règle la section de l'ouverture *o* de façon que le jet ne subisse aucun étranglement.

La turbine travaillera donc, sous n'importe quelle charge, avec le rendement le plus élevé possible.

La lèvre, par suite de sa forme, reçoit de l'eau motrice une énergie constante tendant à ouvrir l'orifice *o;* l'effet contraire est obtenu par un piston P relié à la lèvre mobile recevant, par dessous, la pression constante de la chute; le dessus étant en communication avec la soupape de réglage S.

Par un petit distributeur *d,* cette soupape admet de l'eau motrice, passant par le filtre F, sur le dessus du piston P, dont les deux faces ont, dans ce cas, la même pression; il se trouve donc en équilibre et n'oppose aucune résistance à l'ouverture de la lèvre mobile sous la pression de l'eau motrice.

Si, au contraire, le distributeur *d* laisse échapper l'eau de la face supérieure du piston P en E, le piston, par son énergie plus grande que celle de la lèvre, ferme l'orifice *o*.

Si, enfin, le distributeur *d* ne laisse ni entrer ni échapper de l'eau au-dessous du piston P, celui-ci ne bouge plus ; il ne peut alors se produire aucun mouvement de réglage.

Pour effectuer le mouvement de réglage nécessaire, le distributeur *d* a dû être relié à un pendule T, mais comme tout régulateur fonctionne d'autant mieux que le pendule a moins de résistance à vaincre, le distributeur *d* est asservi par un petit piston *p*, soumis lui-même à l'action du pendule au moyen d'une petite soupape à pointeau *s*.

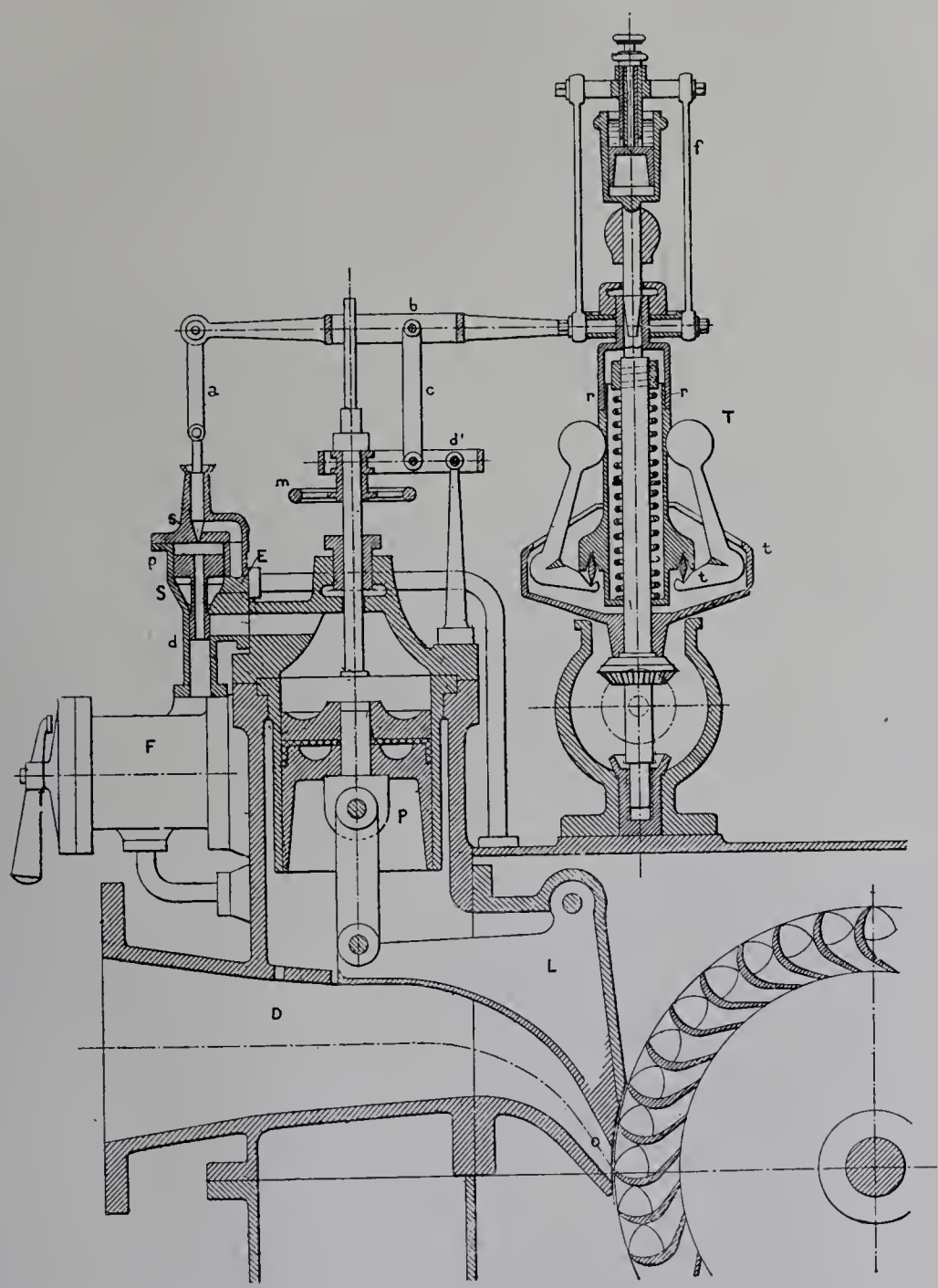


Fig. 199. — Régulateur hydraulique de la Société Escher Wyss et Cie.

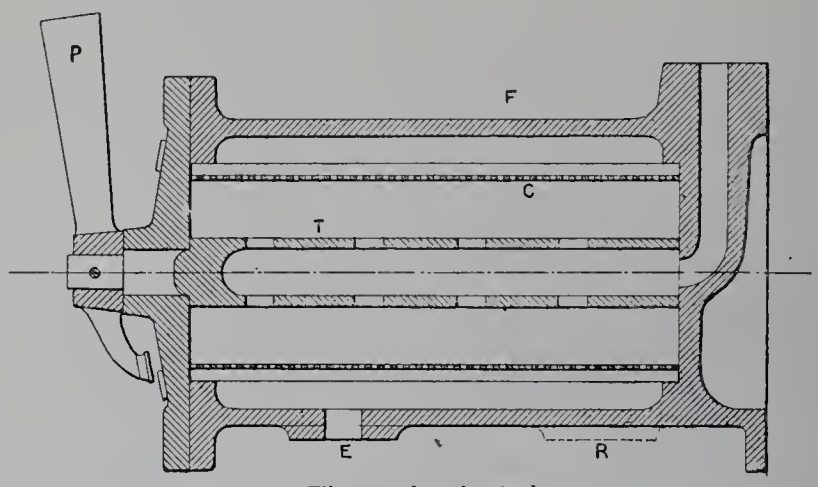
Le distributeur *d*, faisant fonction de piston, reçoit, sur sa face inférieure, une pression constante provenant de l'eau venant du filtre F.

Le piston-distributeur *dp* est percé d'un trou de petit diamètre qui laisse passer de l'eau motrice sur le dessus de *p*, d'où elle peut s'échapper par la soupape *s*.

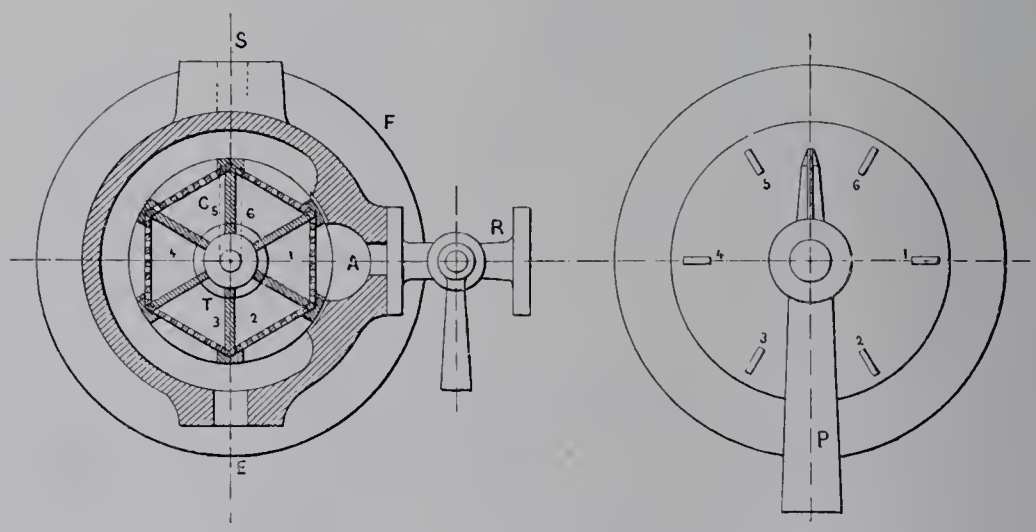
Suivant le degré d'ouverture de *s*, il se produit au-dessus de *p* une pression plus ou moins grande que celle qui existe en *d*, qui imprime un mouvement de haut en bas, et par suite le mouvement correspondant du piston P et de la lèvre L.

Le pendule n'ayant à manœuvrer que la soupape *s*, la dépense d'énergie est si faible qu'une différence de vitesse de 1/2 p. 100 est suffisante pour faire agir le piston servo-moteur sur la lèvre et effectuer le réglage de la turbine.

Une combinaison de leviers *a b c d*, basée sur le principe de celle du servo-moteur Farcot, a pour but de limiter les oscillations dans le réglage; un petit volant *m* permet, en outre, de régler à la main par l'intermédiaire du système hydraulique, de mettre en marche ou d'arrêter la turbine.



Filtre-revolver du régulateur.



Coupe transversale par le filtre. Vue d'avant du filtre.

Fig. 200. — Régulateur hydraulique de la Société Escher Wyss et Cie.

Le pendule est de construction spéciale de la maison Escher Wyss et Cie, établi pour la marche à grande vitesse et muni du ressort de charge *r*.

Toutes les articulations sont sur couteaux en acier trempé *t*, assurant à l'ensemble une sensibilité et une énergie toutes particulières.

Un frein à huile *f* modère les oscillations trop brusques qui pourraient être nuisibles aux organes de l'ensemble du système.

Le filtre-revolver est une disposition très ingénieuse; il empêche les corps étrangers trop volumineux, en suspension dans l'eau, d'obstruer la soupape de réglage; les grains de sable n'y sont pas retenus et passent sans gêner la soupape (fig. 200).

Un tambour T, logé dans une enveloppe F, porte six plaques en tôle perforée C et forme six chambres.

L'eau pénètre par E, passe à travers cinq des tôles C, dans le tube central percé d'orifices, puis se rend aux appareils de réglage par S; la sixième tôle se trouve devant une chambre A en communication avec l'extérieur par un robinet de purge R.

On conçoit de suite que la pression de l'eau contenue dans les chambres 1 à 6 dégagera automatiquement les orifices de cette sixième tôle aussitôt que le robinet de purge sera ouvert, qu'il suffit de tourner le tambour au moyen de la poignée P pour présenter alternativement les cinq autres plaques devant A, et nettoyer complètement l'appareil en quelques instants.

Le réglage des turbines à haute pression, tout simple qu'il paraisse avec les ingénieux appareils qui ont été inventés de toutes parts, présente cependant encore des difficultés qui, si elles ne dépendent pas du moteur proprement dit, ni des organes de régulation, sont néanmoins de nature à troubler profondément leur fonctionnement.

En effet, ces turbines sont toujours alimentées par des conduites d'une certaine longueur dans lesquelles la colonne d'eau, animée d'une vitesse qui atteint souvent plusieurs mètres par seconde, intervient dans le fonctionnement par son inertie propre, subit à sa base des variations de pression très nuisibles que les régulateurs ne peuvent pas toujours corriger, provoque quelquefois des coups de bélier qui brisent tout, si l'écoulement de l'eau vient à cesser trop brusquement.

Dans les usines électriques, par suite d'une décharge brusque ou de la fusion des plombs de sûreté, le régulateur peut encore être appelé à tout instant à agir sur la fermeture de l'orifice injecteur avec le maximum de rapidité et, dans ce cas, les coups de bélier sont fréquents, toujours dangereux.

Pour obvier à ces inconvénients, la maison Escher Wyss et Cie applique à ses turbines un appareil automatique de réglage de pression dans lequel, au moment de la fermeture de l'orifice injecteur, un autre orifice se découvre de la même quantité pour laisser échapper dans le canal de fuite, et sans qu'il agisse sur le moteur, un volume d'eau équivalent à celui qui est retiré sur l'injecteur. La vitesse de l'eau dans la conduite reste donc constante pour toutes les positions de la lèvre mobile.

De plus, pour ne pas laisser échapper continuellement de l'eau par l'orifice de décharge, ce qui occasionnerait dans certains cas une perte sensible, l'appareil est pourvu d'un dispositif automatique qui produit une fermeture lente sans aucune élévation de pression (fig. 201).

Cet appareil est formé de :

Un tuyau adducteur D, muni d'une tubulure E, avec papillon P et tuyau de fuite F.

L'axe du papillon porte un levier L relié à la tige *t* qui supporte un cylindre C rempli d'huile avec contrepoids G. Dans le cylindre C est logé un piston *h* avec clapet *e* qui ferme un orifice qui met en communication les deux faces du piston et est percé lui-même d'un petit trou, relié, en outre, par un système de leviers et de tiges *a, b, c, d,* à la lèvre mobile de l'injecteur.

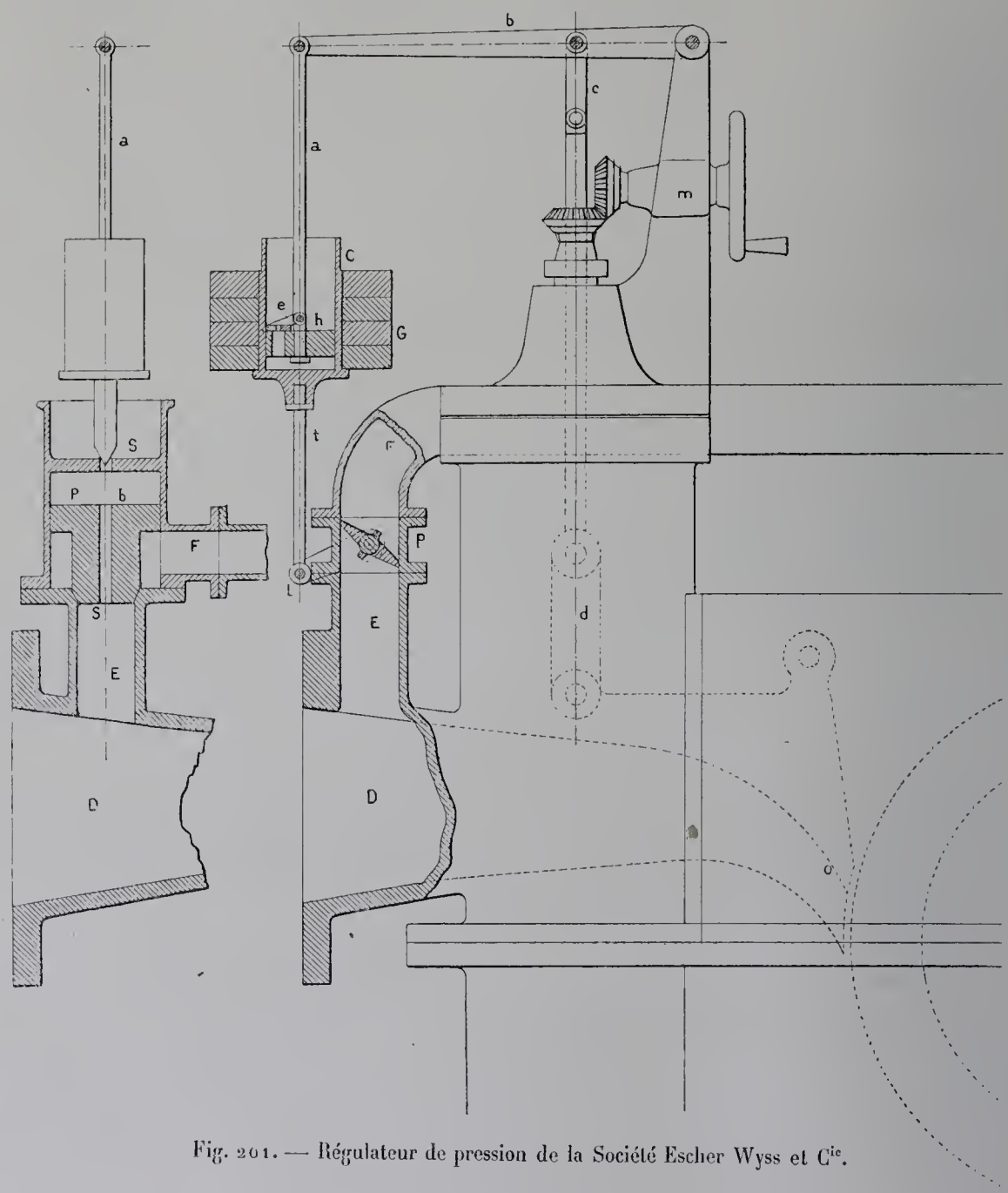


Fig. 201. — Régulateur de pression de la Société Escher Wyss et Cie.

Supposons que le régulateur automatique de vitesse, ou une manœuvre à la main, provoque un mouvement de fermeture de l'orifice O, le piston *h*, par l'intermédiaire de *a b c d*, s'élève dans le cylindre C, mais comme l'huile ne peut pas passer assez vite par le petit trou du clapet *e*, le cylindre avec ses contrepoids et la tige *t* sont entraînés dans ce mouvement, et ouvrent le papillon P pour laisser échapper l'excédent de l'eau motrice.

Mais l'huile continuant à passer par le petit trou du clapet *e*, le contrepoids intervient pour ramener lentement le papillon à sa position de fermeture.

Si, au contraire, le réglage tend à l'ouverture, le piston *h* descend dans le cylindre C, l'huile de la partie inférieure traverse l'orifice de *h* en soulevant le clapet.

Pour donner à cet appareil une précision plus grande et afin de pouvoir remplacer le papillon par un organe de fermeture plus étanche, MM. Escher Wyss et Cie adoptent encore un dispositif dans lequel ils substituent au contrepoids un cylindre et un piston hydrauliques de grande énergie que nous figurons à côté du système à papillon (fig. 201).

Le papillon est remplacé par une soupape S, avec un piston P percé d'un orifice *b* qui amène l'eau sous pression au-dessus de P d'où elle peut s'échapper par une soupape *s*.

Suivant le degré d'ouverture de *s* il se produit dans le dessus de P une pression plus ou moins forte, la soupape S reste appuyée sur son siège ou bien est soulevée par la pression de l'eau motrice et découvre le tuyau de décharge F.

La soupape *s* est construite d'une seule pièce avec le cylindre C; le mouvement de celle-ci produit donc les différentes pressions sur P et par conséquent l'ouverture ou la fermeture de l'orifice de décharge.

Nous remarquons, enfin, un régulateur hydraulique sous pression, soit d'eau, soit d'huile, avec piston différentiel horizontal et arbre de réglage vertical, tel qu'il fonctionne dans les installations faites par la maison Escher Wyss et Cie à l'importante usine de Jonage, près de Lyon, à Rheinfelden (Suisse), à Chêvres, près Genève, etc.

La pression d'huile nécessaire varie de 15 à 30 kilogrammes par centimètre carré, elle est produite par des pompes spéciales.

Le tachymètre à ressorts, agissant sur une soupape, fait exercer le réglage par la petite face du cylindre, tandis que dans l'espace annulaire du cylindre différentiel la pression est constante, et que la grande face reste en communication avec l'atmosphère.

La Société Théodore Bell et Cie nous présente un régulateur hydraulique horizontal à piston différentiel, accouplé avec la turbine à axe vertical de 1,000 chevaux (fig. 202).

Dans les installations où la pression hydraulique est insuffisante pour le soulagement du pivot, MM. Bell et Cie créent une pression d'huile artificielle, et en profitent pour appliquer un régulateur hydraulique à piston différentiel qui se compose de :

Un cylindre à deux alésages de diamètres différents dans lequel se meut un piston différentiel dont la bielle intérieure est reliée à une manivelle de l'arbre principal de réglage.

L'eau ou l'huile arrive par un tuyau O dans l'espace annulaire A fermé par un cuir embouti, et pousse constamment le piston vers le fond du cylindre, position dans laquelle le vannage de la turbine est ouvert complètement.

Un second tuyau conduit le liquide à un tiroir distributeur qui communique avec la chambre à l'arrière du piston. Si la vitesse du moteur augmente, le manchon du régulateur s'élève et entraîne le distributeur, le liquide pénètre derrière la grande face du

piston et, en raison de la différence des sections, le pousse en avant, fait tourner l'arbre de réglage et ferme le vannage.

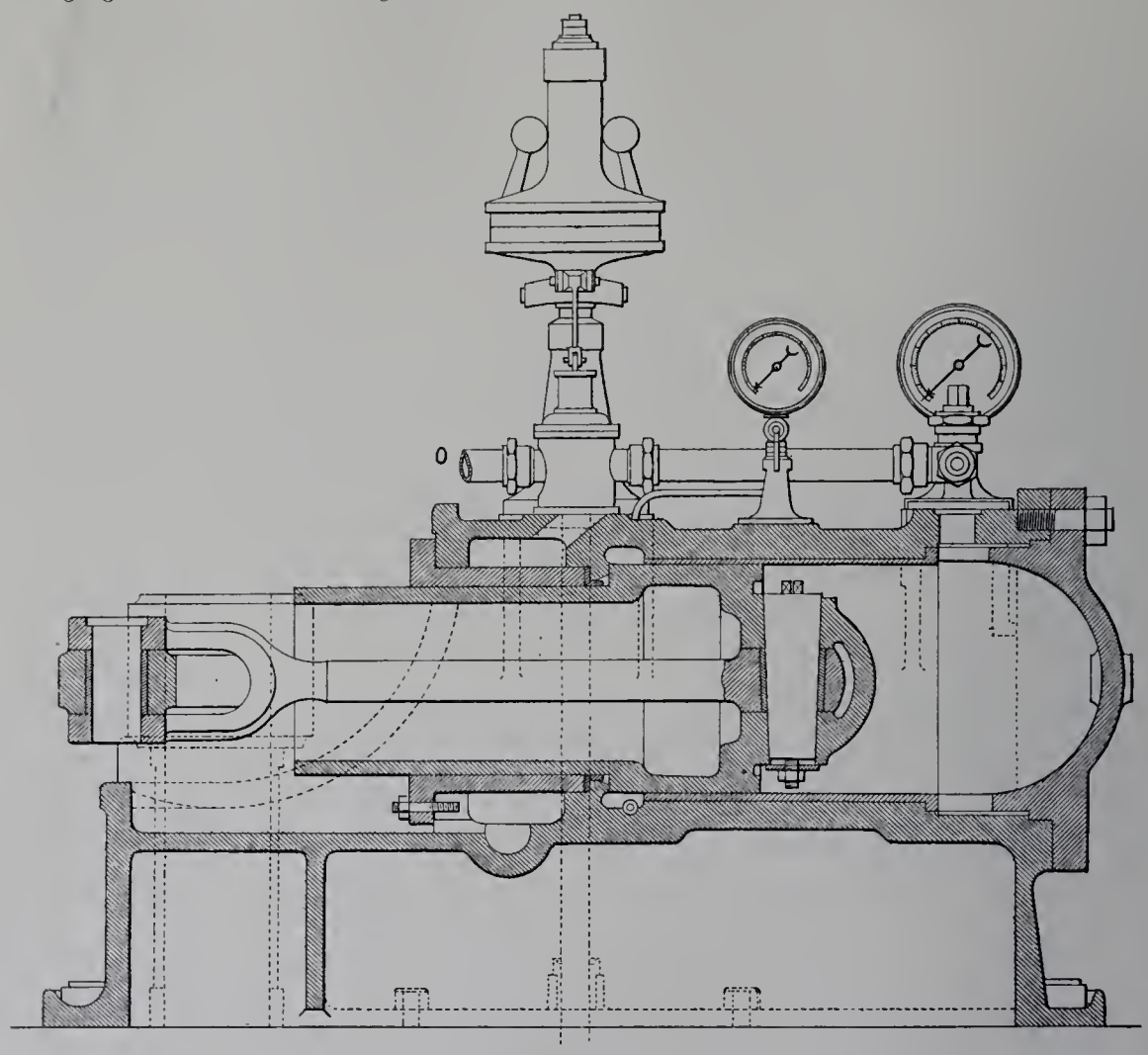


Fig. 202. — Régulateur hydraulique de la Société Bell et Cie, modèle horizontal.

Dans ce mouvement, la tige et la bielle agissent en même temps sur un excentrique qui ramène le tiroir à sa position moyenne, et arrête le piston dans sa course; il faut une nouvelle levée du manchon du tachymètre pour produire une nouvelle fermeture, et ainsi de suite.

Un ralentissement de la turbine fait baisser le tiroir de distribution, la face arrière du piston communique avec l'atmosphère et la pression, dans la section annulaire, le ramène à sa position d'ouverture du vannage; il faut un nouveau mouvement du manchon pour provoquer une nouvelle période d'ouverture.

Un index indique, à chaque instant, la position du piston, par conséquent le degré d'ouverture du vannage.

Ce régulateur peut également se manœuvrer à la main en agissant sur le tiroir au moyen d'un volant. Il porte un indicateur de vitesse et un manomètre fixés sur le cylindre.

Pour les turbines à haute pression, MM. Théodore Bell et Cie ont adopté un régulateur servo-moteur hydraulique qui, quoique basé sur le même principe que ceux des

autres constructeurs, en diffère cependant par quelques détails de construction très ingénieux.

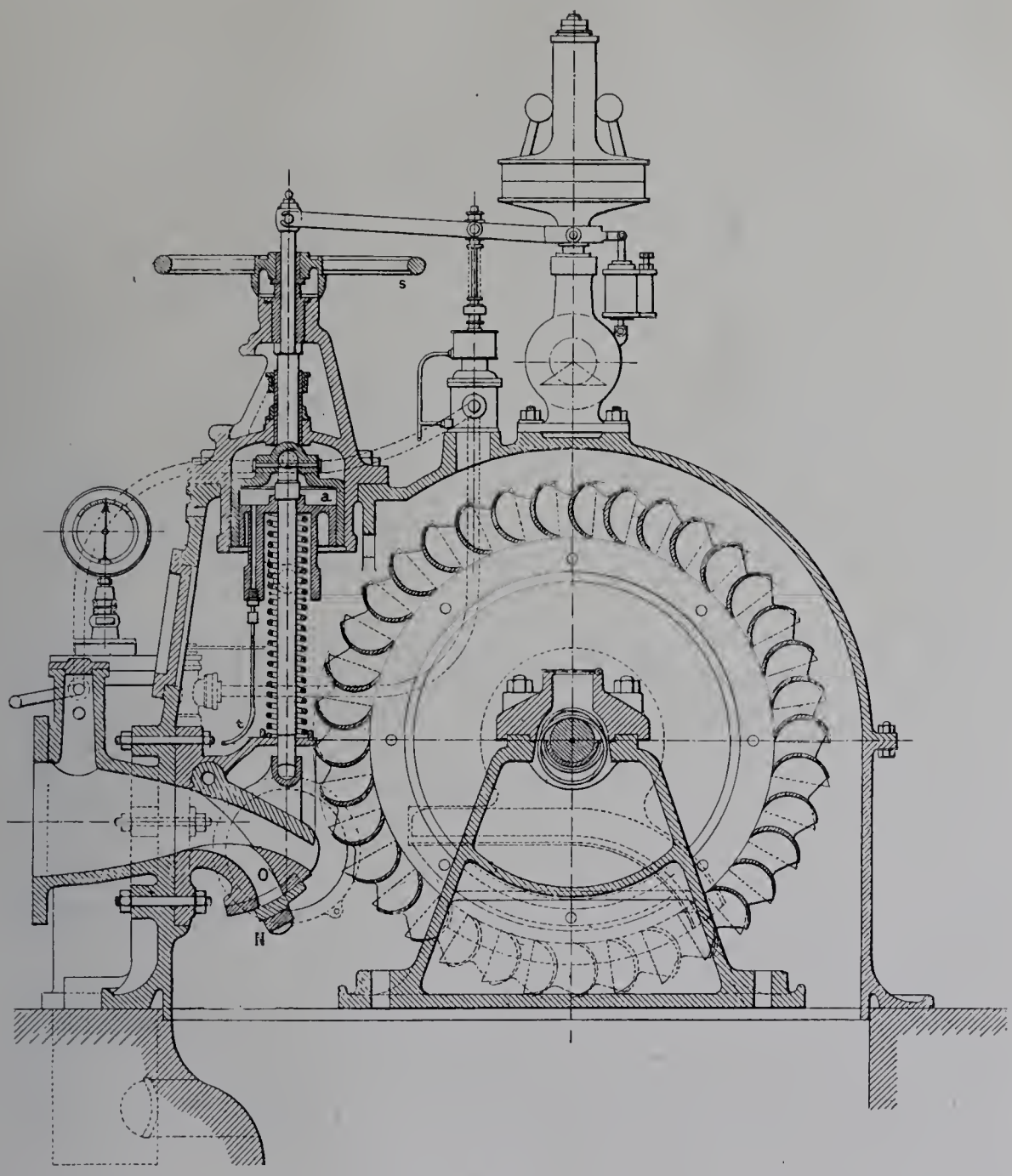


Fig. 203. — Régulateur hydraulique de la Société Bell et Cie, appliqué à une turbine à haute pression.

Comme dans la plupart des turbines à haute pression de construction suisse, l'eau arrive sur la turbine par un orifice injecteur qui porte une lèvre mobile que la pression de l'eau tend constamment à ouvrir, et qui est reliée à la tige d'un piston servo-moteur sur lequel agit la pression de la chute (fig. 203).

L'eau arrive au servo-moteur après avoir traversé un filtre, puis un distributeur soumis à l'action du pendule.

Si, par suite d'une accélération de vitesse, les boules du tachymètre s'écartent, le

IMPRIMERIE NATIONALE.

manchon du régulateur s'élève, entraîne le tiroir de distribution, l'eau passe sur le piston qui est poussé de haut en bas et ferme la lèvre mobile.

Mais dans ce mouvement de descente le tiroir de distribution est ramené dans sa position de fermeture, le mouvement est arrêté et il faut, comme dans les systèmes que nous avons déjà vus, un nouveau déplacement du manchon pour produire un nouvel abaissement du piston, et, par conséquent, de la lèvre qui arrive ainsi progressivement à la fermeture totale si la charge vient à être enlevée complètement.

Si, au contraire, le manchon du régulateur s'abaisse sous l'influence d'un ralentissement de la turbine, le piston suit le même mouvement et le met en communication avec l'échappement; la pression naturelle de l'eau relève la lèvre mobile en même temps que le piston, entraîne le tiroir qui est ramené à sa position moyenne, le mouvement est arrêté jusqu'au moment où le régulateur agit à nouveau.

La lèvre mobile suit donc exactement les mouvements du pendule, et si la turbine venait à être déchargée brusquement, l'action serait très rapide.

Mais nous avons déjà vu que les turbines à haute pression sont toujours alimentées par des conduites d'une certaine longueur, et qu'en cas de fermeture brusque de l'orifice d'écoulement de la turbine des coups de bélier, souvent désastreux, sont à craindre.

MM. Bell et Cie parent à cette éventualité par une disposition très ingénieuse qui remplit le rôle du régulateur de pression de MM. Escher Wyss et Cie.

Dans le piston servo-moteur est logé un second piston que maintient un ressort enroulé autour de la tige.

L'espace entre les deux pistons est constamment rempli d'eau sous pression amenée par le filtre et un tuyau en caoutchouc *d*.

Le piston *a* est articulé par deux bielles et un système de leviers oscillant autour de l'axe de la lèvre mobile, reliés à un tiroir N qui ferme un orifice O placé au-dessous de l'orifice injecteur et de même section que lui.

Si la turbine vient à être déchargée, le piston servo-moteur s'abaisse et ferme l'orifice d'injection, le piston intérieur suit le mouvement et ouvre, au contraire, l'orifice de décharge O de telle sorte que la section d'écoulement reste constante, quel que soit le degré d'ouverture de l'injecteur. Lorsque celui-ci est complètement fermé, l'eau s'échappe donc uniquement par O dans le canal de fuite, et l'action sur la roue motrice cesse.

Mais à chaque descente du piston intérieur, le ressort qui agit de bas en haut le repousse, l'eau emprisonnée entre les deux pistons s'écoule lentement par le tuyau *t* de faible section, le tiroir N se ferme doucement, l'évacuation de l'eau cesse progressivement, les coups de bélier sont évités.

La vitesse de fermeture du tiroir d'échappement N peut être réglée à volonté en fermant plus ou moins le robinet placé sur le tuyau *t*.

Enfin la section de l'orifice injecteur peut également être réglée à la main par le volant S.

Ce qui caractérise tout particulièrement cet intéressant appareil, c'est la disposition spéciale du tiroir distributeur en communication avec un récipient rempli d'huile qui est amenée dans le cylindre servo-moteur sous la pression naturelle de l'eau, laquelle agit sur le fond du réservoir, l'huile surnageant par la différence des densités.

Le fonctionnement se trouve ainsi parfaitement à l'abri des impuretés de l'eau et de son action corrosive, par conséquent indépendant de sa nature; c'est la seule disposition de ce genre qui figure à l'Exposition de 1900.

Nous passons maintenant à MM. Teisset, veuve Brault et Chapron, qui nous présentent un régulateur de vitesse, système Ribourt, agissant sur la vanne de la turbine américaine de 22 chevaux, dont nous avons parlé dans le cours de la description des turbines.

L'appareil est installé à titre de démonstration seulement; son fonctionnement correspond, d'une manière fictive, à la manœuvre du vannage de la turbine, celle-ci tournant sans eau, actionnée par une transmission de mouvement appliquée à la base de son arbre.

Le régulateur n'en effectue pas moins ses fonctions modératrices, en agissant réellement sur une transmission par courroies à rapports variables dont il règle l'allure.

Cette transmission est, en effet, actionnée elle-même par un intermédiaire du même genre, dont on peut changer le rapport initial des vitesses à volonté, par une manivelle apparente et qui prend son mouvement sur un moteur à gaz placé dans l'exposition voisine.

Le régulateur redresse donc constamment les vitesses de la deuxième transmission, solidaire de la turbine, quand on change le rapport des vitesses de rotation de la première transmission.

Un autre dispositif de turbine américaine, à axe horizontal, est également présenté par MM. Teisset, veuve Brault et Chapron, avec la manœuvre par le même régulateur, transmise au vannage par l'intermédiaire d'une petite presse hydraulique remplaçant l'ancienne mise en train à vis actionnée à la main.

Cet intéressant appareil mérite une description détaillée, car, s'il n'est pas encore dans le domaine de la pratique, il n'en constitue pas moins un essai très ingénieux et, espérons-le, plein de conséquences vers le réglage précis de la vitesse des turbines hydrauliques.

Le régulateur Ribourt, breveté s. g. d. g., emprunte ses fonctions à l'écoulement d'un liquide par un orifice dont la section se règle automatiquement et produit les mouvements du vannage du récepteur hydraulique à régulariser, au moyen d'un servo-moteur, hydraulique également, à haute pression.

Ce qui le distingue des appareils à régulateur centrifuge, c'est que la loi de rupture de son équilibre est une fonction plus rapide des variations de la vitesse, et que son action, qui est plus immédiate aussi par les mouvements du vannage, réduit de beaucoup l'amplitude des oscillations inhérentes à ce genre de systèmes mécaniques.

L'appareil comprend :

1° Un compteur d'eau rotatif actionné par le récepteur dont il suit toutes les fluctuations de vitesse;

2° Une bâche de réserve où le liquide revient sans cesse sous l'action du compteur;

3° Un cylindre à l'intérieur duquel passe l'eau débitée par le compteur et où se meut un piston principal, ou flotteur équilibré, à axe vertical qui reçoit l'action du liquide dont la pression, variable avec la vitesse du compteur, produit des déplacements verticaux plus ou moins accentués;

4° Un ajutage fixe situé au-dessus de la bâche du compteur et par lequel sort le liquide débité par celui-ci; cet ajutage est obturé partiellement par un cône, mobile suivant son axe vertical, solidaire d'un petit piston d'équilibre soumis lui-même à l'action d'un ressort antagoniste qui tend à mouvoir le système mobile dans le sens de l'ouverture de l'ajutage.

L'eau du compteur agit, par sa charge, sous le petit piston en sens inverse du ressort et tend, au contraire, à fermer l'ajutage;

5° Un manomètre est raccordé au refoulement du compteur et indique la pression du liquide dans cette partie de l'appareil.

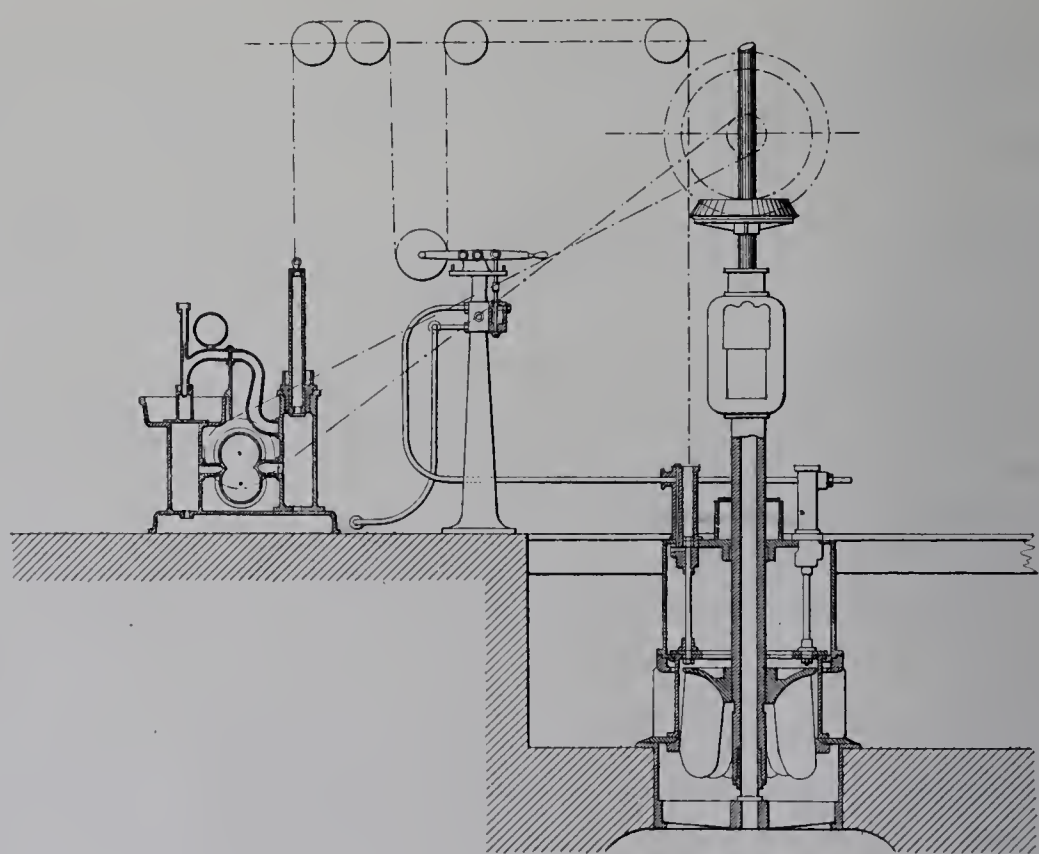


Fig. 204. — Régulateur hydraulique, système Ribourt.

Cet ensemble constitue l'appareil régulateur proprement dit.

Dans ces conditions, le récepteur-turbine ou roue hydraulique étant en marche et actionnant un outillage à une allure donnée qui doit être maintenue régulière, le

compteur fait passer par l'ajutage du régulateur, dans l'unité de temps, une quantité de liquide déterminée qui est fonction de la vitesse de régime.

L'obturateur mobile, sollicité à la fois par son piston et le ressort antagoniste, prend dans l'ajutage de sortie une position d'équilibre en accord avec la section de passage de l'eau et la charge intérieure. On conçoit alors que toute augmentation de vitesse produise une élévation de cette charge, par l'accroissement correspondant du débit du compteur, et, inversement, que tout ralentissement en produise la diminution.

Ces conditions sont exprimées, par la formule suivante d'abord, pour un orifice d'écoulement de section variable ω

$$H = \frac{1}{2\,gK}\,\frac{q}{\omega}$$

dans laquelle :

H est la charge d'écoulement;

g l'accélération de la pesanteur;

K le coefficient de contraction par l'ajutage;

q le débit du liquide dans l'unité de temps.

Mais les dispositions de l'appareil rendent la section ω variable et fonction de la pression H, suivant un rapport inverse tel que

$$\omega^n = f\left(\frac{1}{H}\right).$$

La conséquence est que la loi des charges dans le refoulement du compteur rotatif est, en résumé, une fonction du débit et, par conséquent, de la vitesse du moteur, exprimée d'une manière générale par

$$H = Zq^m,$$

m étant supérieur à 2 et pouvant obtenir des valeurs beaucoup plus élevées par un profil approprié de l'obturateur mobile et par la flexibilité de son ressort antagoniste.

Ceci étant posé, on voit que le piston flotteur principal, soumis à la pression du liquide refoulé par le compteur, est élevé ou abaissé de sa position moyenne d'équilibre, en raison des fluctuations du débit de cet organe ou de celles de la vitesse du moteur à régulariser.

Il suffit donc de lier ce piston à la presse hydraulique capable de mouvoir le vannage du moteur, et à son tiroir de distribution asservi à cette presse et au piston flotteur lui-même, pour que l'admission produite par le vannage dans le moteur soit maintenue, automatiquement, dans les conditions rigoureusement nécessaires pour le maintien de la vitesse uniforme de régime, malgré les variations de puissance.

L'asservissement du tiroir et de la presse du vannage aux mouvements du piston flotteur régulateur est réalisé par un simple cordon flexible passé sur des poulies de renvoi, ce qui donne de grandes facilités pour l'adaptation de ce régulateur aux turbines et aux roues, même pour celles déjà établies.

Quand la pression naturelle de la chute d'eau motrice est suffisante, la presse hydraulique qui actionne le vannage, sous l'influence du régulateur, lui emprunte directement son action.

Lorsqu'il s'agit de basses chutes, il convient de constituer une source d'énergie additionnelle pour mouvoir le vannage; à cet effet, le compteur rotatif du régulateur comporte une petite pompe hydraulique à haute pression qui alimente un accumulateur lesté, mis en communication, par le tiroir du servo-moteur, avec la presse asservie, et qui assure ainsi les mouvements automatiques du vannage.

Pratiquement, on peut compter que des variations de 1/100 en plus ou en moins de la vitesse normale du récepteur sont corrigées par le jeu du régulateur et aussi que, dans l'espace d'une demi-minute environ, la fermeture totale du vannage est assurée automatiquement quand la charge est subitement enlevée au moteur hydraulique.

La Société Jacob Rieter et Cie, de Winterthur (Suisse), a appliqué à la turbine de 1,100 chevaux pour les usines de Montbovon un régulateur servo-moteur hydraulique composé d'un cylindre avec piston différentiel actionné dans un sens ou dans l'autre par la pression naturelle de la chute, et soumis aux mouvements d'une soupape de distribution reliée à un tachymètre calé directement sur l'arbre vertical de la turbine.

Le piston est en connexion avec le mécanisme de vannage de la turbine, lequel est constitué par une vanne cylindrique équilibrée, qui glisse entre la roue directrice et la roue mobile en réglant le volume d'eau absorbé suivant les besoins de la puissance de la turbine.

Les parties principales du régulateur comprennent :

Le tachymètre ou pendule à boules;

L'appareil de distribution constitué par une soupape conique;

Le cylindre servo-moteur avec piston différentiel qui imprime son mouvement au mécanisme de vannage de la turbine;

Le mouvement de connexion entre le vannage de la turbine et le régulateur par l'intermédiaire d'un jeu de leviers;

Le servo-moteur ramenant la soupape de distribution à sa position moyenne pour éviter un déréglage;

Enfin, des organes accessoires qui ont principalement pour but d'obtenir un fonctionnement élastique, sans chocs, de l'ensemble de l'appareil.

Le cylindre servo-moteur est en communication avec une conduite qui amène de l'eau sous pression sur les deux faces du piston. Cette conduite est munie d'un orifice à section invariable, et d'un autre orifice de section plus grande et variable situé dans l'appareil de distribution, vers l'extrémité de cette conduite. Ce dernier orifice contient une soupape conique influencée par le tachymètre dont elle suit le mouvement, en rétrécissant plus ou moins la section de passage de l'eau.

La différence des volumes d'eau qui s'écoulent à travers les deux orifices pourra être, suivant la position de la soupape, tantôt négative, tantôt positive ou bien nulle, et

il en résulte, pour le piston différentiel, soit un mouvement d'avancement, soit de recul ou bien l'arrêt dans une position intermédiaire.

La conduite qui amène l'eau au régulateur est branchée sur la conduite principale des turbines, mais avant d'entrer dans le cylindre elle traverse un double filtre établi de manière à en permettre le nettoyage même en marche.

L'évacuation de l'eau qui a agi sur le régulateur se fait par un tuyau qui débouche dans le canal de fuite.

La mise en marche ou l'arrêt de la turbine se font à la main par l'intermédiaire d'un petit volant qui agit sur la soupape de distribution.

À la partie inférieure de la conduite d'amenée, ces exposants ont établi une « vanne de compensation » permettant la décharge automatique de l'eau au moment des variations brusques de vitesse. Cette vanne fait l'orifice du régulateur de pression des turbines de la Société Escher Wyss et Cie et se compose d'une sorte de robinet relié d'une façon rigide au régulateur automatique de vitesse, et muni d'une cataracte à huile, permettant de régler la vitesse de fermeture.

On aperçoit cette disposition sur la figure 178, page 204, de l'ensemble de la turbine.

MM. Ganz et Cie, de Budapest (Hongrie), actionnent le vannage du système Finck de la turbine de 1,000 chevaux qu'ils exposent, par un régulateur servo-moteur à double effet réglé par un organe de distribution composé d'un cylindre A auquel la pression naturelle de la chute arrive par des tuyaux, après avoir traversé un filtre. Ce cylindre porte des orifices d'admission et d'échappement qu'un piston équilibré, en bronze, B, asservi lui-même et formé de huit disques, fait communiquer entre eux selon la position d'une aiguille centrale C reliée au tachymètre par un jeu de leviers.

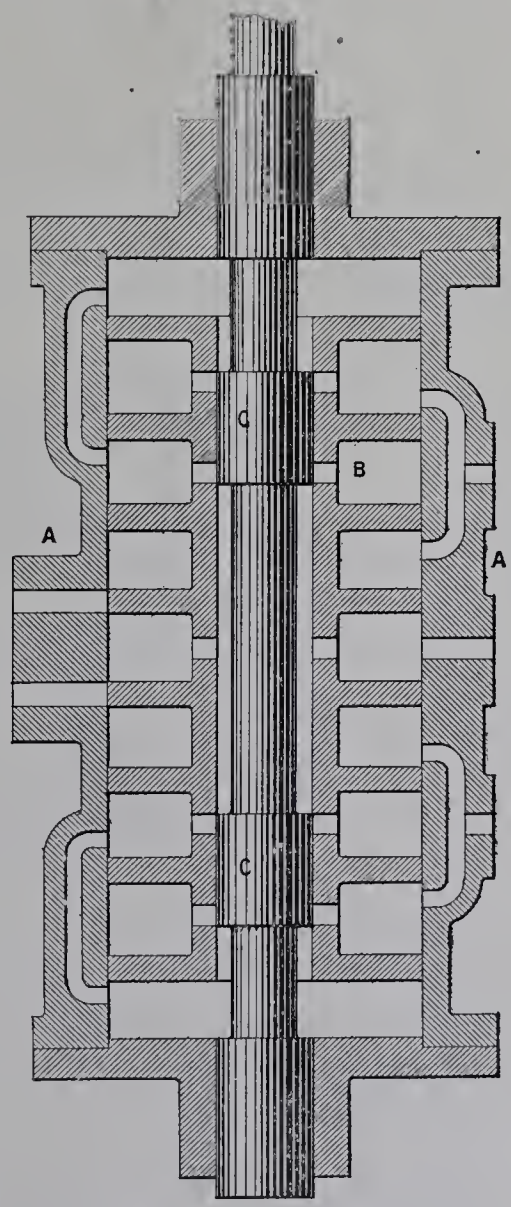


Fig. 205. — Régulateur système Finck.

Lorsque le manchon du tachymètre est dans sa position moyenne, le servo-moteur est au repos.

S'il s'élève sous l'influence d'une accélération de vitesse de la turbine, il entraîne l'aiguille C. les orifices de distribution admettent l'eau sous le disque inférieur, le piston B suit le mouvement de l'aiguille, l'équilibre entre les deux faces du piston du cylindre servo-moteur est rétabli. le mouvement cesse, et il

faut un nouveau déplacement du manchon pour produire un nouveau déplacement du piston distributeur.

Si le manchon vient à baisser par suite d'un ralentissement de la turbine, le mouvement inverse a lieu, l'eau est admise sur la face supérieure du piston B, le pousse vers le bas jusqu'au moment où l'action est arrêtée par suite du recouvrement des orifices d'admission par les disques.

L'effort du piston servo-moteur est transmis à la vanne de la turbine par deux bielles agissant sur deux manivelles qui impriment aux directrices de la vanne un mouvement de rotation.

La Société anonyme des ateliers mécaniques d'Arboga (Suède) a adapté à la turbine exposée un régulateur servo-moteur hydraulique qui agit sur trois couronnes distributrices du moteur, la quatrième étant réglée à la main.

Nous n'avons pas pu nous procurer des détails suffisants sur cet appareil; mais il ne nous paraît présenter aucune particularité digne de remarque.

Le régulateur hydraulique de la Fonderie de fer et atelier mécanique de Drammen (Norvège) est accouplé à la turbine Girard à axe horizontal exposée par cette maison.

Le cylindre servo-moteur est placé horizontalement, la tige du piston agit sur un levier placé à l'extrémité de l'arbre de commande du tiroir obturateur.

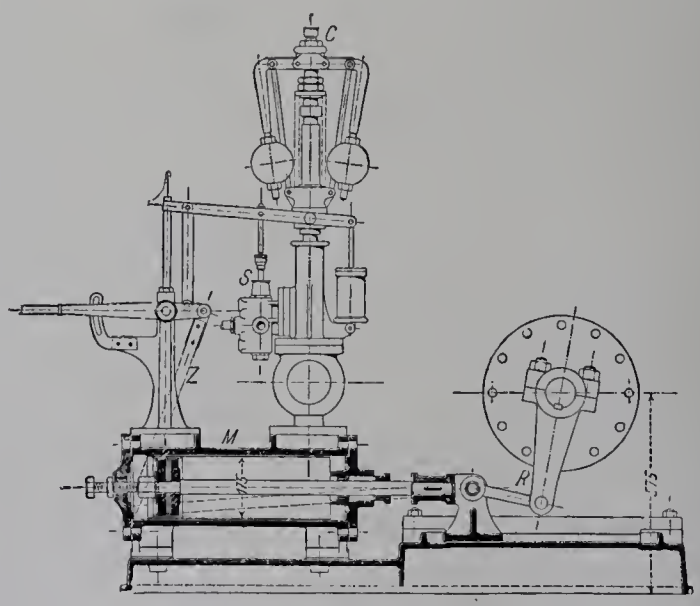


Fig. 206. — Régulateur hydraulique de Drammen.

Une soupape de distribution reliée à un relais, et actionnée par le pendule, évacue l'eau de l'une ou l'autre des faces du piston qui est poussé en sens opposé par la pression naturelle de la chute, et ramène le pendule à sa position après chaque oscillation.

Deux tubes, placés verticalement sur la conduite d'eau, entre le cylindre servo-moteur et un filtre, forment un matelas d'air amortissant les chocs qui pourraient se produire lors de la fermeture trop brusque du tiroir obturateur.

Une cataracte à huile limite les effets du pendule.

Régulateurs hydro-mécaniques. — Dans cette catégorie nous ne trouvons que deux appareils; le premier, présenté par la Société Escher Wyss et Cie, de Zurich (Suisse), est un régulateur universel hydro-mécanique qui se compose d'un tachymètre à ressorts, lequel agit sur un double appareil compresseur d'huile muni d'un système d'engrenages actionnant l'arbre de commande du vannage de la turbine, soit à droite, soit à gauche, suivant que c'est le compresseur du haut ou celui du bas qui entre en fonction.

Fig. 207. — Régulateur universel hydro-mécanique de la Société Escher Wyss et Ce.

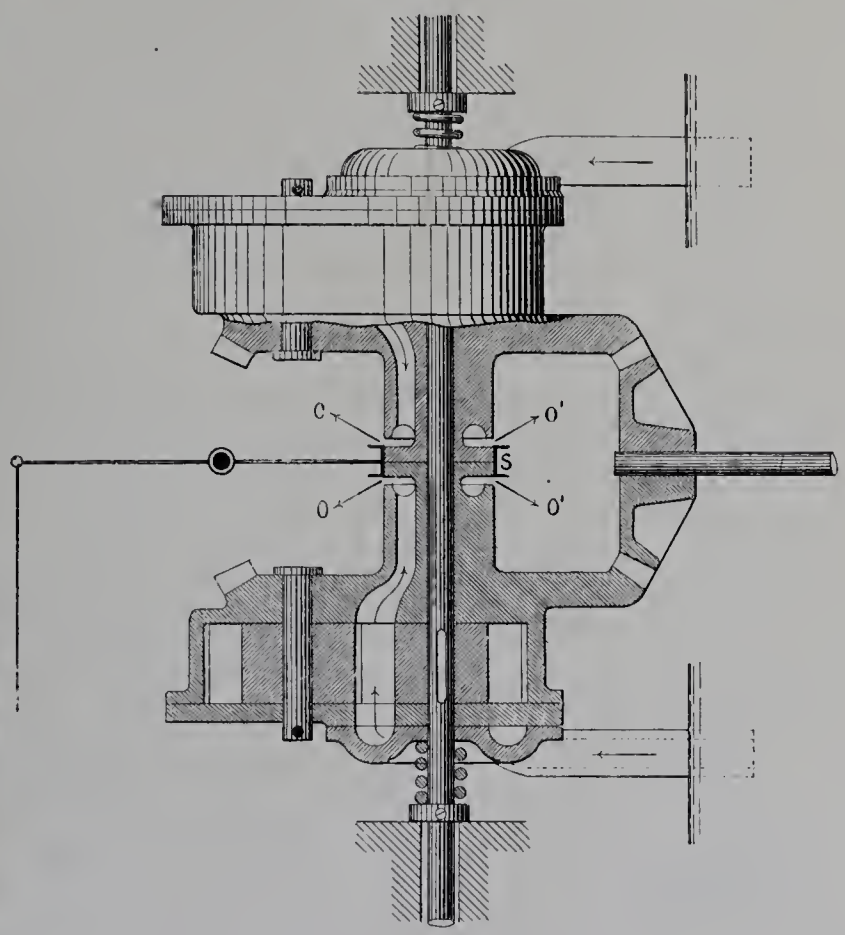


Fig. 208. — Schéma du fonctionnement du régulateur universel.

L'huile contenue dans l'enveloppe est aspirée par les deux corps de pompe, système Schrieter; lorsque le tachymètre est dans sa position moyenne, l'huile traverse les deux corps de pompe et s'évacue sans pression dans le réservoir par les canaux O et O′ dont la sortie est réglée par un anneau S soumis à l'action du pendule; il n'y a aucun mouvement de commande (fig. 207 et 208).

Lorsque le pendule se soulève sous l'accélération de la vitesse, l'anneau suit le mouvement, obture les orifices de sortie du corps de pompe inférieur qui entraîne aussitôt l'arbre du vannage dans le sens de la fermeture.

Si, au contraire, la vitesse est au-dessous de la normale, c'est le corps de la pompe supérieur qui agit dans le sens de l'ouverture du vannage.

L'appareil est pourvu d'un relais genre Farcot et d'une cataracte directement placée sur le pendule pour limiter les oscillations.

Le graissage du pendule se fait par tube Pitot.

Ce régulateur est très sensible, les exposants assurent qu'il fonctionne pour une variation d'un 1/2 pour cent.

Le second appareil de ce genre est présenté par la maison Théodore Bell et Cie, de Kriens (Suisse).

Il est du système Schaad, à action hydro-mécanique, plus rapide et plus énergique que celle des appareils à déclic; il répond mieux à toutes les exigences et sa sensibilité est plus grande.

Ce nouveau régulateur produit lui-même la pression hydraulique nécessaire à son fonctionnement; il est donc indépendant de l'existence d'une pression constante, naturelle ou artificielle, et n'emploie pas l'eau du moteur généralement chargée d'impuretés nuisibles.

Il a pour principe de transmettre le travail mécanique de la courroie de commande du servo-moteur, par l'intermédiaire d'un mouvement différentiel et de deux paires de roues droites emboîtées qui font passer, en circulation continue, deux courants de liquide d'un réservoir formant bâti, à une soupape à double effet; la différence des pressions et des vitesses de ladite soupape, soumise à l'action du pendule, est transmise, par un second mouvement différentiel récepteur, à l'arbre de réglage du moteur, soit à droite, soit à gauche, suivant le déplacement de la tige.

L'une des paires de roues formant pompe sert toujours d'appui (réaction) pour le mouvement de l'autre.

Tant que la vitesse est normale, la soupape reste dans sa position moyenne, les pressions sont en équilibre et l'arbre de réglage reste au repos, mais dès que l'équilibre est rompu, l'arbre est entraîné instantanément et énergiquement dans le sens que sollicite le pendule.

Le pendule est commandé par courroie, indépendamment du servo-moteur.

Régulateurs-freins. — Cinq appareils forment cette catégorie, dont quatre hydrauliques et un électrique.

La maison Rieter et Cie, de Winterthur (Suisse), expose un régulateur-frein hydraulique, système Schrieter, formé d'un corps principal formant réservoir dans lequel une pompe rotative puise de l'eau, ou un liquide quelconque, pour la forcer à traverser une soupape dont la section d'orifice est réglée par le tachymètre.

L'arbre de la pompe porte, à la partie extérieure, une poulie sur laquelle s'enroule une courroie qui reçoit sa commande de la transmission de la turbine, et doit être calculée suffisante pour pouvoir absorber tout ou partie du travail moteur.

Cette poulie, et par conséquent la pompe, marchent toujours à la vitesse normale de la turbine, et n'absorbent que le travail des frottements à vide des organes de l'appareil lorsque le pendule est dans sa position moyenne, la soupape étant ouverte.

Mais si une accélération de vitesse se produit, le pendule agit sur la soupape pour rétrécir la section du passage de l'eau; la pompe, dont le débit ne varie pas, absorbe une force correspondante à celle dont le moteur vient d'être déchargé, il se forme sur la poulie une résistance équivalente qui rétablit rapidement la vitesse normale.

Ce régulateur fonctionne bien, il a reçu de nombreuses applications, mais, ainsi que nous l'avons fait observer précédemment, il a l'inconvénient des appareils de ce genre de ne pas agir sur le débit de la turbine, il n'économise pas l'eau.

De plus, pour des raisons tant économiques que d'encombrement, il ne se construit pas pour des forces de plus de 200 chevaux.

Puis, nous remarquons un régulateur-frein électrique de la même maison, dans lequel une masse de fer tourne avec le moteur dans un champ magnétique et provoque des courants de Foucault qui s'opposent à sa rotation.

Le pendule agit sur l'excitation du champ magnétique et en augmente l'intensité lorsque la vitesse du moteur s'accélère.

L'excitation reçoit le courant d'une batterie d'accumulateurs ou d'une petite dynamo.

L'action est rapide, l'appareil peut absorber d'une manière continue des forces assez importantes, mais il conserve les inconvénients inhérents aux régulateurs-freins.

Enfin, nous terminons le chapitre des régulateurs par l'intéressante exposition de M. Rusch-Sendtner, à Dornbirn (Autriche), qui nous présente trois régulateurs-freins hydrauliques de différentes forces (fig. 209).

Dans ce système, au lieu de presser de l'eau à travers un orifice réglable par le pendule, elle est élevée dans le réservoir au moyen d'une roue à aubes.

Ce régulateur comprend un réservoir d'eau dans lequel tourne une roue à aubes dont l'axe est muni, comme dans le modèle Schrieter, d'une poulie à courroie, mais peut être aussi accouplé directement à l'arbre de la turbine.

Lorsque le régulateur est à courroie, il pose sur des rails tendeurs qui permettent de régler la tension de celle-ci. Entre la cage de la roue et la boîte formant réservoir d'eau se trouvent deux orifices dont l'un est réglé par une soupape actionnée par un tachymètre, l'autre servant de déversoir d'eau placé au point le plus élevé.

Aussi longtemps que la vitesse est normale, la soupape est fermée, la roue tourne dans le vide et la perte de force sera uniquement celle absorbée par les frottements de l'arbre qui sont très réduits par suite d'un graissage automatique bien assuré.

Cette perte ne dépasse pas 1 p. 100 de la plus grande puissance de freinage lorsqu'il y a commande par accouplement direct et 4 à 5 p. 100 lorsqu'il y a commande par courroie.

Mais lorsque la vitesse du moteur augmente, la soupape s'ouvre et laisse passer plus ou moins d'eau, proportionnellement à l'amplitude des oscillations du pendule.

L'eau qui passe par la soupape est aussitôt mise en mouvement accéléré, et rejetée par l'ouverture supérieure dans le réservoir.

Ce mouvement représente le travail absorbé, se transforme en chaleur, et régularise la vitesse de la turbine.

Si l'échauffement devient trop important, on dispose un système de refroidisseur en remplaçant l'eau pendant la marche.

Ce régulateur se construit en sept numéros différents; la puissance maxima est actuellement de 300 chevaux.

Le constructeur garantit que la vitesse ne varie pas de 1 1/2 p. 100, lorsque l'appareil n'a à freiner que la moitié de la force totale pour laquelle il a été installé, et 2 1/2 pour 100 lorsqu'il freine la force totale.

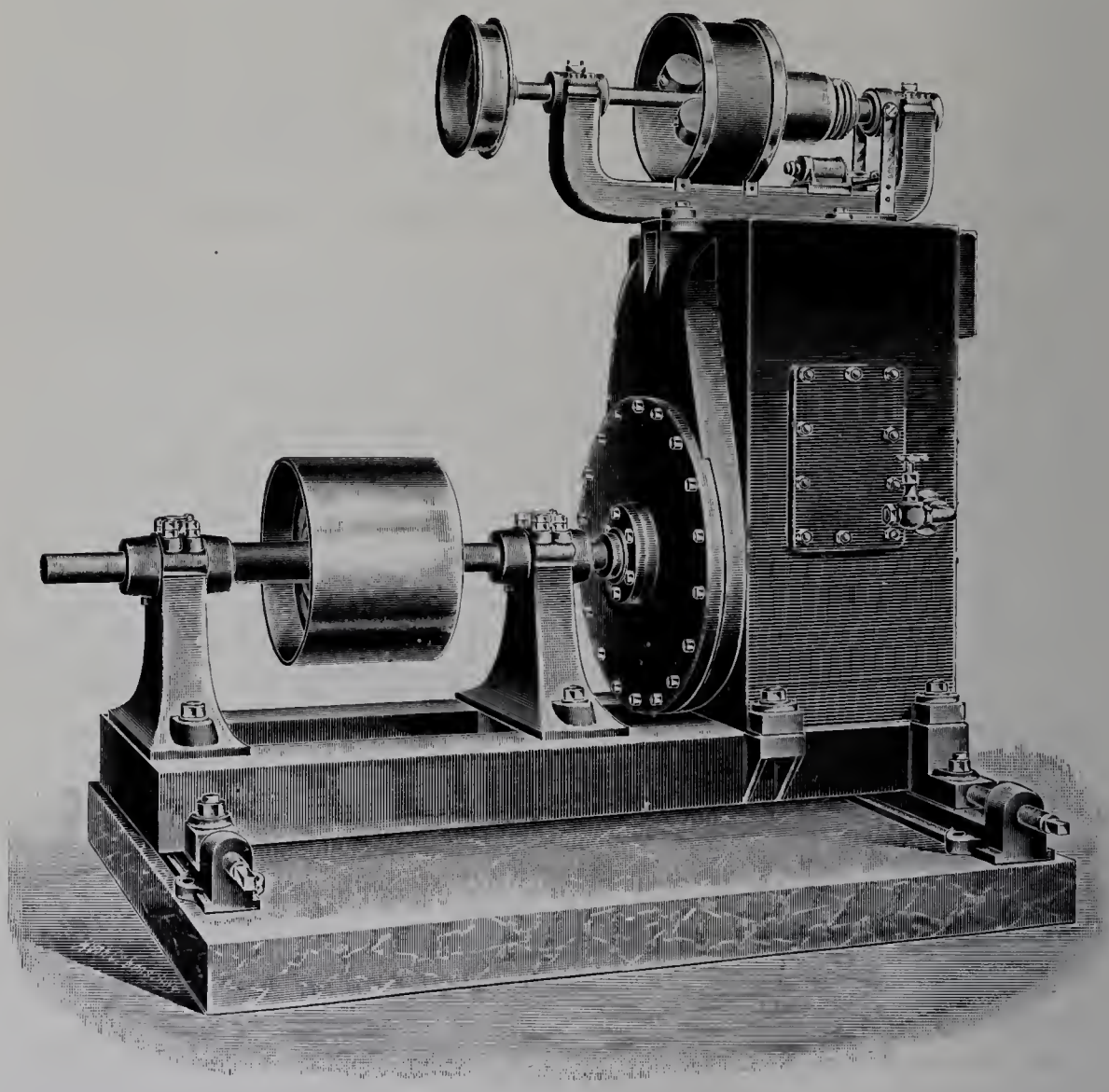


Fig. 209. — Régulateur-frein, système Rusch.

Les caractéristiques de ce régulateur sont sa grande sensibilité, l'absence d'organes sujets à usure, — sauf le siège de la soupape, — la marche silencieuse, le faible travail absorbé par le travail à vide.

La construction est robuste et soignée.

Nous résumerons l'examen des moteurs hydrauliques pour constater que la période

de 1889 à 1900 a été particulièrement féconde dans cette industrie, qu'elle est caractérisée par des progrès importants et décisifs.

Nous avons vu que, notamment pour les turbines, leur construction a subi des transformations profondes, leur application a pris un développement qu'on n'aurait pu soupçonner, et les besoins croissants de la force motrice sont de nature à assurer le plus brillant avenir à cette branche de l'industrie.

Les anciennes turbines centrifuges ou parallèles sont remplacées presque partout par les turbines centripètes à grande vitesse et à grand rendement; la puissance des moteurs a augmenté dans des proportions énormes.

Les régulateurs de vitesse, aussi, sont puissants et perfectionnés. Ils possèdent un degré de sensibilité inconnu jusqu'alors, par l'application du relais qui limite les oscillations du pendule, de la décharge automatique qui régularise la pression dans les conduites d'amenée et évite les coups de bélier; enfin, par les soins minutieux et la précision apportés dans l'étude et la construction des plus petits détails, ces intéressants appareils ne le cèdent plus, en rien, aux meilleurs régulateurs de machines à vapeur.

Il est bien à souhaiter qu'en France l'impulsion donnée pendant les dernières années du XIXe siècle à la construction des turbines se développe davantage encore, que les pouvoirs publics viennent seconder les efforts de l'initiative privée en favorisant, par tous les moyens, la création et l'utilisation des forces hydrauliques, une des sources les plus profitables de la richesse nationale.

III. STATISTIQUE.

Nous ne possédons pas les éléments nécessaires pour apprécier la richesse, en forces hydrauliques, des différents pays qui ont présenté des moteurs à l'Exposition de 1900; nous nous contenterons donc d'indiquer, pour la France seule, quelques chiffres qui, quoique n'étant basés que sur des estimations, n'en présentent pas moins quelque intérêt.

M. René Tavernier, ingénieur en chef des ponts et chaussées, constate, dans l'étude qu'il a publiée en 1901 sur *les forces hydrauliques des Alpes, en France, en Suisse et en Italie,* que « on ne s'est point préoccupé jusqu'ici, tout au moins d'une manière générale et méthodique, d'établir un relevé des forces hydrauliques disponibles; aucune mesure efficace n'a encore été prise en France pour connaître, d'après des bases certaines et uniformes, l'ensemble de cette richesse publique ».

Tous les chiffres cités sur l'importance des forces hydrauliques en France ne sont donc que le résultat d'évaluations approximatives s'approchant plus ou moins de la vérité.

M. Aristide Bergès, qui, le premier, entreprit d'utiliser l'eau des glaciers et des cascades, captée sur le sommet des hautes montagnes, estime qu'il serait possible de créer du Mont Blanc aux Basses-Alpes environ 5 millions de chevaux par l'extension à toute la région des Alpes du système qu'il a appliqué à Lancey.

Et, en ajoutant aux Alpes les Pyrénées, le Massif central, les Vosges, le Jura, il évalue à 10 millions de chevaux la totalité de la *houille blanche française.*

En admettant que l'évaluation de M. Bergès, qui est celle qui a eu le plus d'écho, soit la plus exacte, nous devons constater qu'une très faible partie de cette puissance considérable se trouve utilisée. Il y a même quelques années seulement, avant les progrès réalisés dans les procédés de la transmission électrique de l'énergie et par l'électrochimie, les grandes forces hydrauliques n'existaient pas, parce qu'elles étaient sans emploi.

On ne rencontrait qu'une quantité de petites usines, échelonnées le long des cours d'eau à faible pente, actionnées par de vieilles roues hydrauliques ou par des turbines peu perfectionnées, mais toutes d'une puissance restreinte.

Aujourd'hui, au contraire, les petites usines tendent à disparaître au profit des grandes industries, qui emploient une puissance supérieure à la totalité de la force de celles qui sont supprimées.

Parmi ces industries, signalons particulièrement la production de l'électricité pour l'éclairage et le transport de la force à distance, de même que l'électro-chimie qui demande à de puissantes usines hydrauliques l'énergie nécessaire à ses nombreuses applications.

Les hautes chutes de montagne, surtout dans les Alpes et dans les Pyrénées, sont donc activement recherchées; mais comme pour utiliser le débit des cours d'eau, des torrents et des ruisseaux, il est nécessaire d'acquérir leurs droits d'eau aux propriétaires riverains, ceux-ci les font souvent payer des sommes énormes.

Il s'est même créé, pour exploiter cette situation, une industrie nouvelle, celle des *pisteurs* ou *barreurs de chutes* qui, par l'achat de quelques mètres de rives, acquièrent des droits suffisants pour empêcher l'établissement de toute usine jusqu'à ce qu'ils aient réussi à faire racheter ces droits moyennant un prix souvent considérable.

C'est d'ailleurs dans le but de réagir contre la spéculation de ces *barreurs de chutes* qu'un projet de loi sur les usines publiques hydrauliques a été déposé le 6 juillet 1900 par le Ministre des travaux publics et de l'agriculture.

Le Bureau de la statistique générale de la France fit une première enquête sur les forces hydrauliques utilisées dans l'industrie, d'après les données qui lui ont été fournies par la Direction de l'hydraulique agricole au Ministère de l'agriculture; les résultats en ont été publiés par M. Turquan, dans *le Génie civil* (5, 12, 19 septembre 1896).

D'après M. Turquan, et en ce qui concerne les cours d'eau non navigables ni flottables, le nombre des établissements industriels et des usines qui utilisent la force hydraulique était de 69,620, avec une puissance totale brute s'élevant à 1,028,807 chevaux.

Suivant les résultats récemment publiés par l'*Office du travail,* le nombre des usines hydrauliques installées était, à la fin de l'année 1899, de 46,366 sur les rivières non navigables, utilisant une puissance effective de 488,891 chevaux, et de 1,526 sur les rivières navigables et canaux, développant une puissance totale de 86,081 chevaux.

Sur les cours d'eau navigables et non navigables, le nombre total des établissements était donc, à la fin de 1899, de 47,892, utilisant une puissance totale effective de 574,972 chevaux.

En comparant ces chiffres officiels avec ceux publiés par M. Turquan, en 1896, l'on voit que le nombre des usines sur les cours d'eau non navigables a diminué de 23,254, tandis que la puissance totale effective a augmenté d'environ 175,000 chevaux.

En effet, le chiffre de 1,028,807 chevaux, indiqué par M. Turquan pour la puissance brute, doit correspondre approximativement à une puissance effective de 500,000 chevaux, si l'on tient compte d'un rendement moyen de 50 p. 100 pour les récepteurs peu perfectionnés installés à cette époque.

La comparaison de ces deux statistiques, bien que la première ne soit qu'approximative, confirme néanmoins notre affirmation d'après laquelle, d'une part, une quantité de petites usines ont été supprimées et, d'autre part, il a été créé, ces dernières années, des forces hydrauliques considérables, utilisant les hautes chutes de montagne.

La seule force hydraulique importante qui existait en France à l'époque où ont été établies les statistiques publiées par M. Turquan était celle de Bellegarde, sur le Rhône, tandis que la dernière statistique de l'*Office du travail* indique qu'il existe actuellement :

114 usines utilisant une puissance hydraulique effective de 201 à 500 chevaux;

17, une puissance de 501 à 1,000 chevaux;

26, une puissance supérieure à 1,000 chevaux.

Nous croyons d'ailleurs intéressant de donner ci-après la nomenclature des principales forces hydrauliques de plus de 1,000 chevaux actuellement utilisées en France.

Société lyonnaise des forces motrices du Rhône, usine de Cusset.....	12,000 chevaux.
Société électro-métallurgique française, à la Praz (Savoie).....	12,000
Société des forces motrices et usines de l'Arve, à Chedde (Savoie). — Produits chimiques, éclairage, transport, chlorate de potasse....	12,000
Société lyonnaise *La Volta*, à Moutiers (Savoie). — Soude, électrochimie.....	12,000
Société électro-thermique de la Romanche, à Livet-et-Gavet (Isère)..	7,000
Société des carbures métalliques, à Notre-Dame-de-Briançon (Hautes-Alpes).....	7,000
Société d'électro-chimie, à Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie). — Chlorate de potasse et soude.....	6,000
Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue, à Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie). — Aluminium.....	6,000
Société électro-métallurgique de Saint-Béron (Savoie). — Carbure de calcium.....	6,000
Société des forces motrices du Dauphiné, à Grenoble (Isère).....	6,000
Société des forces motrices du Giffre, à Mieussy (Haute-Savoie)....	6,000
Société électro-métallurgique de Villelongue (Hautes-Pyrénées). — Carbure de calcium.....	5,000
Aristide Bergès, à Lancey (Isère). — Fabrique de papiers, éclairage, transport de force.....	5,000

Sociétés des forces motrices des Alpes-maritimes, à Nice	5,000 chevaux.
Rochette frères, à Épierre (Savoie). — Carbure de calcium	4,000
Sociétés des forces hydrauliques du haut Grésivaudan, à Chapareillan (Isère)	3,000
Société *L'Inexplosible*, à Saint-Félix, près Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie)	3,000
Société des soudières électrolytiques, à Livet-et-Gavet (Isère)	3,000
Société électrique de Rioupéroux, à Rioupéroux (Isère)	3,000
Société des forces motrices et usines électriques de la Vézère, à Allassac (Corrèze). — Transport de force	3,000
Compagnie P.-L.-M. et chemin de fer du Fayet à Saint-Gervais (Savoie), ensemble à Servoz et à Chamonix	3,000
Société *L'Union électrique*, au Saut-Mortier (Jura). — Force motrice et éclairage	3,000
Papeteries de Rioupéroux, à Rioupéroux (Isère)	2,000
Aubry, à Albertville (Savoie). — Papiers et pâtes de bois	2,000
Société hydro-électrique de Vizille (Isère). — Transport de force par l'électricité	2,000
Société hydro-électrique de Fures et Morge (Isère)	1,600
Usine hydro-électrique de Vinca (Pyrénées-Orientales)	1,500
Compagnie internationale du carborundum, à la Bâtie (Savoie). — Électro-chimie	1,400
Compagnie française des carbures de calcium, à Séchilienne (Isère)	1,200
Société électrique d'Évian (Haute-Savoie)	1,200
Société du chemin de fer de Pierrefitte à Cauterets et Luz (Hautes-Pyrénées)	1,200

Cette nomenclature laisse voir l'importance qu'a prise en France l'utilisation des forces hydrauliques depuis la dernière Exposition universelle, grâce à l'intermédiaire de l'électricité.

MACHINES À COLONNE D'EAU.

La machine motrice à colonne d'eau est d'invention relativement récente; elle est due à Bélidor, qui construisit le premier moteur de ce genre vers le milieu du XVIIIe siècle.

Tout d'abord appliqués à l'épuisement de l'eau dans les mines, ces appareils se sont peu à peu répandus comme générateurs d'énergie.

Ils exigent, en effet, pour développer une force utilisable industriellement, une très forte pression qui ne peut être obtenue que par une grande hauteur de chute qu'on ne trouve que rarement, qu'il n'est pas toujours facile de créer, et on leur préfère les turbines hydrauliques, beaucoup plus souples, plus économiques, moins délicates et d'un rendement plus élevé, lorsqu'elles sont bien construites.

Depuis qu'on emploie la pression hydraulique, ou l'eau comprimée, pour transmettre à distance la force développée par un moteur quelconque, les machines à colonne d'eau servent plutôt de récepteurs, l'énergie transmise par le moteur principal étant ainsi transformée en mouvement à l'endroit où elle doit être utilisée; elles jouent le même rôle que la dynamo réceptrice dans les transports de force par l'électricité.

Ce fut William Armstrong qui, vers 1840, se servit le premier de l'eau sous pression pour transporter la force à distance, et en appliqua le principe aux grues dans les ports de mer.

L'idée se propagea rapidement et s'étendit depuis aux appareils de levage, aux travaux publics, à la fabrication des pièces de forge, aux riveuses, à la marine et à la guerre pour la manœuvre des tourelles, des gros canons, et la manutention des projectiles, aux ascenseurs; elle a reçu, en un mot, les applications les plus diverses.

Mais dans la Classe 20, nous n'avons pas à nous occuper des machines à colonne d'eau utilisées comme réceptrices; elles figurent, à l'Exposition de 1900, chacune dans la classe respective de son application spéciale; nous n'examinerons donc que les appareils qui ont été présentés au Jury international comme générateurs d'énergie.

Les moteurs de ce genre sont composés des mêmes organes qu'une machine à vapeur, c'est-à-dire d'un cylindre dans lequel l'eau imprime à un piston un mouvement alternatif qu'une manivelle transforme en mouvement de rotation.

Ils sont, suivant le système, à simple ou à double effet; l'eau est distribuée sur le piston par un tiroir à très larges orifices, et comme le fluide moteur est incompressible, qu'il ne se dilate pas comme la vapeur ou les gaz, l'appareil doit forcément marcher à pleine admission pour donner un rendement convenable, la vitesse d'entrée de l'eau est faible, l'allure de la marche lente, et l'on ne peut travailler avec admission réduite à la même vitesse qu'à pleine charge.

La diminution du débit doit être corrigée par une vitesse plus faible du piston, par conséquent de tout le système, ce qui n'est que rarement compatible avec les exigences du fonctionnement des appareils qu'on veut actionner. Nous ne trouvons dans la Classe 20 que deux machines à colonne d'eau motrices, la première présentée par M. Marcel Durozoi, à Paris.

Cette machine est à axe horizontal, à mouvement alternatif et à double effet, et peut fonctionner sous une pression minimum de 2 mètres.

L'eau provenant d'une source, d'un réservoir, ou d'une conduite de ville, pénètre dans l'appareil derrière un piston dont chacune des faces est terminée par un long cylindre formant lui-même un nouveau piston.

L'eau arrive alternativement sur l'une ou l'autre des faces par un ingénieux système de clapets et une distribution continue; elle est remplacée dans le cylindre distributeur au fur et à mesure de son évacuation.

Il n'intervient dans le fonctionnement de l'appareil aucun organe articulé nécessitant une surveillance ou un graissage continus. Tout se résume à quelques joints à serrer et à garnir de pâte antifriction lubrifiante.

Les bourrages extérieurs sont en cuir découpé résistant à 28 kilogrammes de pression par centimètre carré.

L'appareil donne 12 coups par minute; le rendement serait, d'après l'exposant, de 80 p. 100.

La seconde machine à colonne d'eau est présentée par M. Henri Spuhl, de Saint-

IMPRIMERIE NATIONALE.

Gall (Suisse), qui fait marcher des éventails à mouvement oscillatoire pour l'aération de salles de société ou de fêtes, de restaurants, de chambres dans les pays tropicaux.

Le moteur est à simple effet, l'éventail ne nécessitant, pour une allée et une venue, qu'une seule impulsion.

Le piston, dans sa marche en avant, agit sur un levier coudé au bout duquel se trouve un secteur denté engrenant avec une petite roue sur l'axe de laquelle se trouve la poulie à corde qui actionne l'éventail.

A cette poulie est fixée une butée qui renverse le levier du robinet d'eau aussitôt que le piston est arrivé à l'extrémité de sa course.

Le cylindre se vide, le piston revient en arrière sous l'action de son poids et de celui de l'éventail, et produit la réouverture du robinet pour provoquer un nouveau mouvement en avant.

Pour faciliter le renversement du robinet, ce dernier est équilibré par la contre-pression de l'eau.

L'eau arrive généralement au robinet par une conduite sous pression branchée sur une conduite générale de distribution municipale ou particulière, mais, à son défaut, on peut aussi obtenir la pression nécessaire en pompant l'eau à la main dans un réservoir placé à un étage supérieur. Elle est recueillie, à la sortie du moteur, dans un bassin d'où elle est reprise par la pompe.

D'après les indications de l'exposant, le temps nécessaire pour élever l'eau au réservoir n'excède pas un dixième de celui pendant lequel l'éventail peut fonctionner. La vitesse de la machine est de 25 à 45 tours par minute.

Avec une pression de 3 atmosphères, la machine ne dépense qu'environ 100 litres d'eau par heure pour un éventail de chambre, ce qui, à raison de 0 fr. 20 le mètre cube, représenterait une dépense de 20 centimes pour une marche de 10 heures.

En admettant un rendement de 70 p. 100, la force de l'appareil serait d'un peu plus de 1/2 kilogrammètre.

La construction est très simple et bien soignée.

On nous présente ensuite une machine à colonne d'eau de l'Usine métallique de Saint-Pétersbourg (Russie) qui, quoique n'étant pas essentiellement motrice, a cependant été admise par le Jury dans la Classe 20.

Cette machine est du type mural, destinée à la manœuvre des tourelles de navires cuirassés.

Elle est à 4 pistons à simple effet de 50 millimètres de diamètre, ayant une course de 150 millimètres, et fait 270 tours par minute.

La pression est de 80 kilogrammes par centimètre carré, et la force développée, de 80 chevaux.

Les cylindres sont disposés deux par deux en tandem, le mouvement est transmis par deux bielles aux deux manivelles, coudées à angle droit, d'un arbre de couche maintenu par deux paliers fixés sur un bâti qui porte tout le mécanisme.

La distribution de l'eau est effectuée par 4 tiroirs doubles à coquille équilibrés, d'une

disposition très ingénieuse, et qui sont reliés, deux par deux, de chaque côté de la machine ; ils reçoivent leur mouvement alternatif par un jeu de leviers et de tiges.

Le rendement de ces machines est de 70 à 75 p. 100.

L'exposant nous déclare que 11 cuirassés sont déjà munis de ce système de machines, à raison de 4 à 6 unités par navire.

La construction est particulièrement soignée et de bel aspect.

TROISIÈME PARTIE.

MOTEURS À VENT ET MOTEURS DIVERS.

MOTEURS À VENT.

Les moteurs à vent, plus communément appelés «moulins à vent», sont, comme les moteurs hydrauliques, d'origine très ancienne, mais ils ne se sont guère répandus en Europe que vers le XIIe siècle.

On les utilisait surtout pour la mouture du blé, mais depuis l'invention des moulins automoteurs, c'est-à-dire se réglant d'eux-mêmes, quelle que soit l'intensité ou la direction du vent, leur emploi s'est généralisé principalement aux élévations d'eau, aux irrigations; des applications ont également été faites pour la production de l'électricité et paraissent devoir donner de bons résultats pour l'éclairage privé dans les châteaux, fermes, etc., placés dans des conditions favorables et n'exigeant que peu de force.

La pression par unité de surface étant très faible par les vents ordinaires, il faut donner aux roues motrices des diamètres considérables pour des puissances relativement peu importantes, et l'on n'obtient qu'une vitesse de rotation réduite.

Les machines doivent donc être d'une grande légèreté mais robustes, le frottement doit être minimum, l'orientation facile, et, pour éviter les détériorations lorsque le vent souffle avec violence, les appareils modernes sont pourvus de mécanismes, souvent très ingénieux, qui mettent la surface que présentent les ailes en rapport avec la vitesse du vent, effacent même complètement la roue pendant les tempêtes, pour la ramener automatiquement à sa position de marche lorsque les conditions sont redevenues normales.

L'industrie des moulins à vent s'est peu développée en France; il n'en est pas de même en Amérique, où la force naturelle du vent est utilisée par des milliers de moteurs.

Malgré cela nous trouvons, à l'Exposition de 1900, 8 moteurs à vent dans la section française et 2 seulement dans la section étrangère, en Grande-Bretagne, soit au total 10 machines. Nous remarquons encore deux autres aéromoteurs, de construction américaine, mais comme ils sont exposés dans la Classe 2 comme pompes et non comme moteurs, le Jury de la Classe 20 n'a pas eu à les examiner.

M. Vidal-Beaume, de Boulogne-sur-Seine (Seine), présente trois moulins «Éclipse», dont deux au Champ-de-Mars et un à l'annexe de Vincennes.

Le premier appareil (fig. 210) que nous examinons se compose de :

Une roue motrice de 3 m. 60 de diamètre, faisant environ 50 tours par minute pour un vent de 10 mètres par seconde;

Un appareil de transmission;

Un système d'orientation et de désorientation automatique ;

Un pylône en fer qui supporte tout l'appareil ;

Une pompe à trois corps à laquelle le moteur transmet la force nécessaire pour élever un mètre cube d'eau à 3 mètres de hauteur par heure de marche.

La roue motrice est formée d'une armature en bois de frêne dont les bras sont boulonnés au centre sur un moyeu en fonte, calé à l'extrémité d'un arbre horizontal.

Sur toute la surface de l'armature, et suivant les rayons de la roue, sont fixées des lames en bois placées radialement tout autour de la circonférence, mais qui obliquent dans le sens de la largeur de façon à obtenir un recouvrement complet tout en laissant subsister un vide entre elles.

La roue motrice est fixée sur un arbre horizontal en acier, maintenu dans un palier autograisseur; l'extrémité opposée reçoit une manivelle qui actionne une bielle dont la tête, guidée verticalement par une glissière, communique, par l'intermédiaire d'une tringle, un mouvement vertical alternatif à la tige du piston de la pompe.

Le moteur et son appareil de transmission sont supportés par un bâti en fonte, fixé à sa partie inférieure sur un tube en fer creux formant axe, placé au centre d'un manchon également en fonte.

Une série de billes en acier, intercalées entre le manchon et le bâti, permettent à tout le système de tourner avec facilité autour de l'axe en fer creux; elles sont protégées contre les intempéries par un chapeau en métal, démontable.

L'arbre moteur tourne dans des coussinets en bronze dont le graissage est assuré par une cavité ménagée dans le coussinet inférieur.

Une petite sphère en liège, sapin, ou tout corps surnageant sur l'huile, occupe cette cavité et tourne en même temps que l'arbre auquel le lubrifiant est ainsi amené d'une façon constante.

L'orientation et la désorientation se font au moyen d'une girouette ou gouvernail à grande surface, tournant librement autour du même axe que le bâti au moyen d'une armature en fonte. Deux secteurs dentés, l'un fixe sur le support du gouvernail, l'autre articulé sur le bâti, portent un levier à contrepoids rendant le moteur solidaire de son gouvernail.

Le contrepoids est calé sur la tige du levier de façon que, en temps normal, le gouvernail étant placé suivant la direction du vent, le plan de la roue, perpendiculaire à cette direction, offre au vent son maximum de surface.

Dans un plan parallèle à celui de la roue, mais complètement indépendante et tout à fait en dehors de celle-ci, est placée une palette ou vanne régulatrice formée de lames en bois, posée à plat et reliée au bâti par une tige rigide en fer.

Le moteur tourne avec des vents très faibles et par conséquent sans action sur la palette; mais si la vitesse du vent augmente et devient considérable, la vanne régulatrice, qui reçoit aussi l'impulsion du vent, oblige la roue à s'obliquer et même à prendre une position parallèle à celle du gouvernail; à ce moment, la roue n'a plus rien à redouter du vent, puisqu'elle ne le reçoit plus que sur sa tranche. En opérant cette

rotation, le bâti a entraîné son secteur articulé, lequel, trouvant un point d'appui sur le secteur denté fixe du gouvernail, entraîne à son tour le levier à contrepoids; la violence du vent venant à diminuer, le contrepoids ramène, par une opération inverse, la roue à sa position primitive. L'orientation et la désorientation de l'appareil sont donc absolument automatiques.

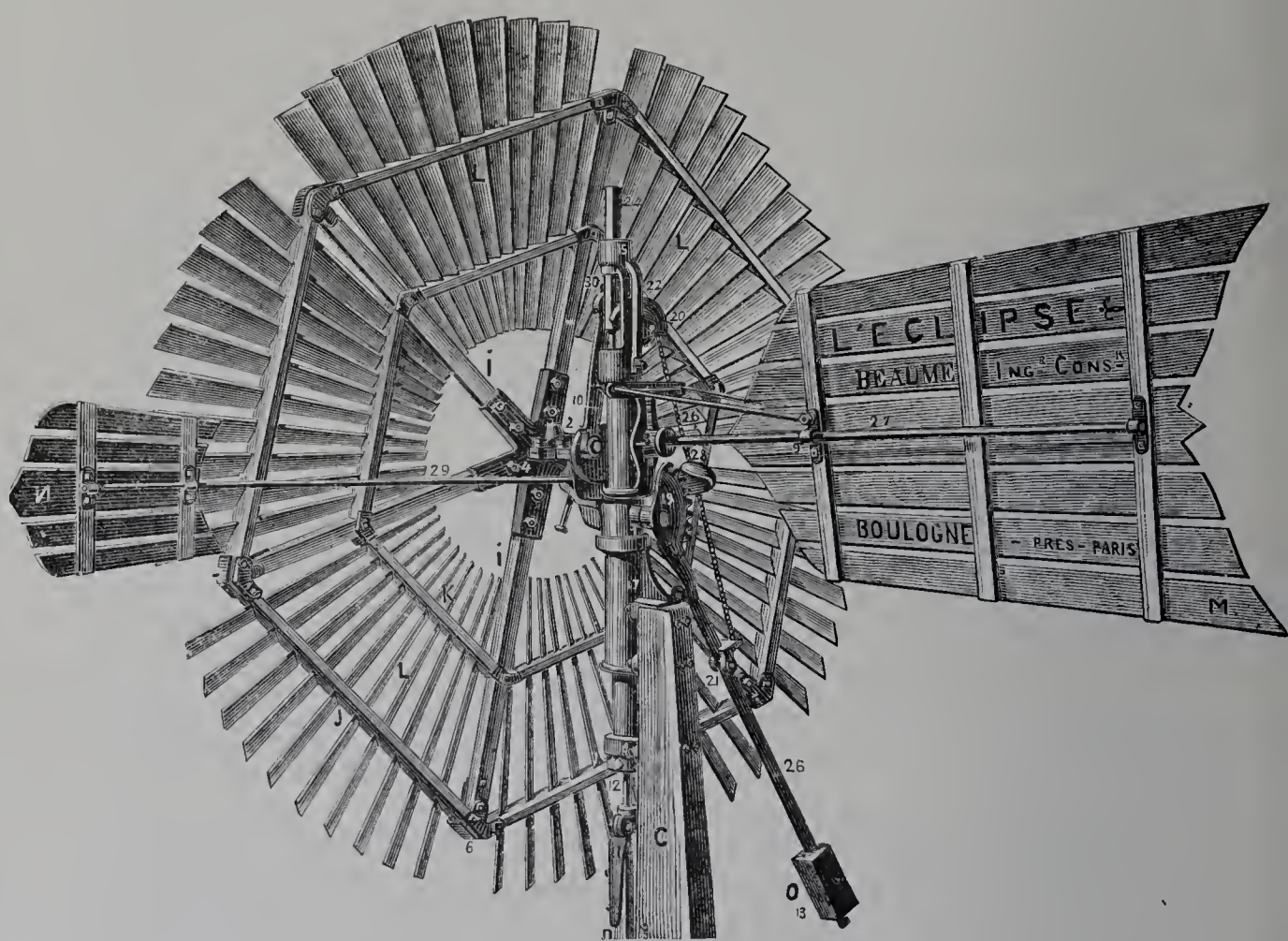


Fig. 210. — Moulin à vent «l'Éclipse».

Lorsque l'on veut arrêter ou immobiliser l'appareil, une chaînette, fixée au levier à contrepoids et descendant jusqu'au sol, en passant sur une poulie de renvoi placée à la partie supérieure du bâti, permet de manœuvrer la roue, de la position de travail à celle de repos et réciproquement.

Pylône. — Le pylône est une charpente dont le but unique est de supporter l'appareil moteur; il affecte la forme d'une pyramide à base carrée, et se compose de quatre montants ou arbalétriers en fer assemblés et entretoisés au moyen de croix de Saint-André. La partie inférieure des montants est fixée, par des scellements, sur quatre massifs maçonnés établis autour du puits qui doit fournir l'eau d'alimentation.

À leur partie supérieure les montants sont réunis et boulonnés sur la partie infé-

rieure du manchon en fonte précédemment décrit, et qui supporte l'appareil de transmission.

La hauteur du pylône est variable et dépend du lieu où il est construit. En général, il faut que toute la surface de la roue se trouve au-dessus des bâtiments voisins, pour recevoir l'impulsion du vent de quelque direction qu'il vienne.

Une plate-forme est établie à la partie supérieure du pylône pour permettre l'inspection et le graissage des différentes parties de l'appareil; on accède à cette plate-forme au moyen d'une échelle en fer fixée le long d'un des montants.

Pompe. — La pompe aspirante et foulante est du système Beaume, à double enveloppe, à trois corps de piston.

Le cylindre inférieur sert de clapet d'aspiration, celui du haut, de clapet de refoulement. La pompe est actionnée indistinctement par le moulin à vent seul ou accouplé à un moteur quelconque; enfin un système de leviers permet de marcher à la main lorsque le vent est insuffisant.

Nous trouvons ensuite un moteur du même modèle que le précédent qui actionne un arbre vertical pour une transmission de mouvement quelconque. Tous les organes sont graissés automatiquement.

Enfin, à l'annexe de Vincennes, M. Vidal-Beaume a exposé en marche un magnifique moulin à vent de 6 mètres de diamètre développant une force de 2 1/2 à 3 chevaux pour une vitesse du vent de 7 à 8 mètres.

La roue fait 35 tours par minute et se désoriente à la vitesse de 10 mètres.

Tous les moulins de cette maison sont munis d'une disposition analogue à celle de la coulisse de changement de marche de Stephenson, permettant de réduire à volonté la course de la pompe, de l'arrêter sans immobiliser le moteur ou bien de l'actionner à la main.

La construction de ces machines est bien soignée, leur sensibilité est remarquable.

Nous passons maintenant aux moteurs à vent dits : *Éoliennes,* de M. E. Lebert, du Mans, successeur de M. A. Bollée, le constructeur bien connu.

Ces appareils se distinguent des autres moulins aérifères par le mode d'utilisation de la force du vent et par leur construction entièrement métallique. Le courant d'air est concentré dans un entonnoir et dirigé sur les ailes de la roue par un distributeur absolument comme l'eau dans les turbines hydrauliques parallèles; ce sont de véritables turbines à vent (fig. 211).

M. Lebert présente au Jury deux turbines *Éoliennes* munies de quelques perfectionnements que leur constructeur a apportés à l'Éolienne primitive de M. Auguste Bollée.

Le premier de ces moteurs est monté sur un pylône quadrangulaire de 19 mètres de hauteur, sous disque, et présente une surface de 21 mètres carrés. Il est formé de deux parties, une couronne fixe, qui dirige le vent, sous un angle donné, sur une roue mobile, et développe une force de 4 chevaux pour une vitesse du vent de 10 mètres par seconde. L'orientation et la désorientation sont obtenues par une petite roue

Fig. 211. — Turbine à vent «Éolienne».

spéciale très sensible, et ne se font que progressivement; la surveillance de l'orientation devient donc inutile. L'orienteur maintient la turbine dans une direction perpendiculaire à celle du vent. Pendant les tempêtes il change automatiquement de position de façon à présenter au vent la jante de la turbine, ce qui permet à l'appareil de résister aux plus fortes tempêtes.

Dans le modèle primitif, lorsque la vitesse du vent dépassait même momentanément 7 mètres par seconde, l'orienteur tournait sur son axe et était fixé par un ressort dans une position parallèle à la turbine qu'il désorientait complètement, et qui était ainsi arrêtée jusqu'à ce qu'on l'orientât à nouveau.

Les appareils exposés sont munis d'un nouveau dispositif, qui consiste à placer le contrepoids sur une tige commandée par un câble qui passe sur un secteur à profil de parabole cubique; la désorientation est progressive.

Lorsque le vent prend une vitesse régulière de 7 mètres à 9 m. 50, le disque moteur fait un angle de plus en plus petit avec la direction du vent.

En outre, lorsque le vent est irrégulier, les coups de vent violents, mais de faible durée, chassent l'orienteur, qui produit une désorientation momentanée et remet ensuite la turbine au vent. On obtient ainsi une moyenne d'heures de marche beaucoup plus grande que dans le moteur primitif.

La transmission du mouvement est faite par deux paires d'engrenages cônes et un arbre vertical en acier; les coussinets sont tous en bronze et leur ajustage soigné réduit les frottements au minimum.

Le guidage de l'arbre est bien assuré, le graissage est automatique partout. Le pylône est à contreventement horizontal, ce qui lui assure une bonne résistance et de l'aplomb.

La pompe actionnée par le moteur est à trois corps distincts, à piston plongeur en bronze, construite pour être placée à une profondeur variable avec celle des puits; étant placée au niveau de l'eau, elle ne se désamorce jamais.

La deuxième turbine que nous examinons est du système à colonne; les roues fixe et mobile sont identiques à celles de la turbine que nous venons de voir, mais la force n'est plus que de 1 cheval 1/2 en eau élevée.

Tous les roulements du moteur, de même que les paliers du mécanisme des pompes, sont montés sur billes, par conséquent très sensibles; les vents les plus faibles peuvent donc être utilisés.

L'arbre coudé tourne à la vitesse de 30 à 40 tours par minute, lorsque la vitesse du vent est comprise entre 6 et 7 mètres.

La construction de ces appareils est très légère, mais résistante et soignée; les aubes directrices et motrices sont en tôle d'acier mince; le rendement mécanique du système est certainement plus élevé que dans les moteurs qui n'ont pas la couronne directrice, mais cette application augmente sensiblement le prix du système.

M. Durozoi (Marcel), à Paris, présente un ingénieux moulin à vent, à orientation et frein automatiques de son système breveté.

Les aubes de la roue motrice sont du système ordinaire à lames creuses, l'axe est excentré de manière à obtenir l'orientation automatique sans gouvernail, le roulement de l'arbre moteur se fait sur rouleaux, l'orientation est montée sur billes.

Un disque se présente au vent et agit sur un frein pour régler automatiquement la vitesse, arrêter même le moteur par les grands vents; un contrepoids ramène le levier en arrière et desserre le frein lorsque le vent a repris sa vitesse normale.

Les dispositions adoptées rendent le mouvement de tous les organes très doux, la roue doit se présenter toujours normalement au vent sans l'aide d'aucun gouvernail, le frein agit pour régler automatiquement la vitesse.

Il est regrettable que le temps et les conditions atmosphériques n'aient pas permis au Jury international de se rendre compte expérimentalement du fonctionnement de ce moteur, car il comporte des innovations qui mériteraient d'être soumises à des essais pratiques.

MM. Duke et Ockenden, de Littlehampton (Grande-Bretagne), exposent un moulin à vent monté sur pylône en acier, d'une construction très légère, bien établie, mais qui ne présente aucune particularité digne de remarque.

M. Durey-Sohy, de Paris, expose à Vincennes un moulin à vent à gouvernail direct qui s'oriente d'une façon immédiate. Lorsque le vent souffle en tempête, il amène automatiquement la roue vers le grand gouvernail et revient à sa position primitive lorsque le vent faiblit.

L'appareil est monté sur pylône, la manœuvre de mise en marche ou d'arrêt se fait depuis le sol. La roue a 4 m. 50 de diamètre et développe une force de 1 chev. 1/2 pour une vitesse de vent de 10 mètres par seconde.

La Ontario Wind engine Pump Company (Canada) soumet à l'appréciation du Jury un moulin à vent dont le montage n'est pas terminé. La roue motrice est en tôle, la construction est très simple et d'une grande légèreté.

Nous terminons enfin les moteurs à vent par un appareil présenté par M. le marquis de Maubon, composé d'une caisse métallique, dont les quatre faces sont munies de persiennes auxquelles on peut donner à volonté une inclinaison quelconque et dans n'importe quel sens.

Le vent, après avoir traversé ces persiennes, agit sur huit voiles fixées à l'intérieur de l'appareil sur un arbre central moteur.

Cet appareil, qui est exposé au premier étage de la galerie de la Classe 20, se place sur le faîte d'un édifice; il est destiné, comme la plupart des moteurs de ce genre, à élever l'eau, mais il n'est pas à notre connaissance qu'une application en ait été faite.

Nous ne considérons du reste pas cette machine comme apportant un perfectionnement quelconque aux moteurs à vent de construction classique.

MOTEURS DIVERS.

Les machines de cette catégorie, au nombre de quatre, sont toutes des moteurs rotatifs; trois fonctionnent à l'air comprimé, le quatrième est à mélange d'air et de vapeur.

L'appareil présenté par MM. Gouttes et Brunel, de Bordeaux, est un moteur rotatif à détentes multiples fonctionnant à l'air comprimé et développant une force de 6 chevaux à la vitesse de 3,000 tours par minute.

Son poids n'est que de 80 kilogrammes.

Un axe mobile forme la partie centrale d'un disque supportant, sur chaque face, une série de couronnes ou d'anneaux concentriques; chaque anneau porte sur son pourtour des entailles à faces planes, les unes radiales, les autres inclinées; une face radiale et une face inclinée constituent une chambre.

L'axe est pourvu de deux cuvettes en métal dur recevant des billes.

La partie fixe est essentiellement formée de deux disques portant chacun des anneaux qui, lorsque le moteur est monté, viennent s'intercaler entre les couronnes du disque mobile.

Vers la partie extérieure les deux disques forment, en les présentant l'un à l'autre, une chambre générale circulaire pour les gaz et les vapeurs issus d'un générateur quelconque. Les couronnes fixes portent, sur leur pourtour, des entailles à faces planes qui, inclinées sur le rayon, constituent des canaux.

Chaque disque fixe comporte une semelle de fixage et, à l'intérieur, une cuvette en métal dur maintenant des billes. Des canaux placés sur la double couronne extérieure mettent la chambre générale en communication avec certaines des chambres de la couronne mobile extrême.

La portion extérieure des parties fixes porte le ou les conduits d'évacuation du fluide utilisé; cette évacuation se fait à l'air libre, ou dans un condensateur lorsqu'on se sert de la vapeur.

Des écrous permettent de régler rigoureusement le disque mobile entre les deux parties fixes; le jeu est réduit le plus possible.

La partie mobile, une fois montée et supportée par les billes qui reposent sur les cuvettes, est d'une mobilité très grande; le moindre effort appliqué sur l'axe met le moteur en mouvement.

On peut considérer cet appareil comme une turbine centripète à trois couronnes concentriques, l'air qui a fini d'agir sur la couronne extérieure étant introduit et dirigé, à travers les orifices distributeurs convenablement disposés, sur la seconde couronne, puis sur la troisième, pour enfin s'échapper au centre par deux tubulures.

Ce moteur est bien étudié et bien construit, d'une légèreté absolument remarquable, puisque son poids ne dépasse pas 13 kil. 333 par cheval de force; il possède, en outre, les avantages des turbines à vapeur par l'absence de surfaces frottantes, de

bielles, de pistons, garnitures, tiroirs, excentriques, etc.; il n'a pas de point mort, la mise en marche et le réglage sont faciles, mais il faut attendre que la pratique ait sanctionné son application.

La Ingersoll Sergeant Drill Company (États-Unis) expose un moteur Brotherhood à trois cylindres, actionné par l'air comprimé, pour la commande de machines-outils.

Le système de cette machine est suffisamment connu pour que nous n'ayons pas à entrer dans les détails de sa description.

Nous passons ensuite à un moteur rotatif construit par M. Michon, à Paris, qui constitue l'exécution la plus simple d'un brevet pris en 1889 pour un nouveau système de moteurs rotatifs; il est d'une force de 1/3 de cheval et disposé spécialement pour la marche à l'air comprimé.

Il comprend, comme parties essentielles, un manchon ou tuyau déformable qui tapisse circulairement la face interne d'un grand cylindre fixe, en combinaison avec une poulie folle ou tambour; ce dernier est monté fou sur une partie excentrée d'un arbre concentrique au cylindre, de façon à pouvoir rouler sur le tuyau déformable en le maintenant obstrué.

Si l'on admet un fluide sous pression dans le manchon, en arrière du tambour, ce fluide tend à gonfler le manchon qui presse ainsi sur la partie arrière du tambour, et l'oblige à tourner en entraînant l'arbre moteur.

Les manchons faisant au moins un tour complet dans le cylindre, comme dans le modèle exposé, il n'y a jamais de libre communication entre ces deux bouts.

Lorsque le manchon fait plus d'un tour, il y a détente pendant toute la partie de la course où il se croise sur lui-même, grâce à un principe nouveau qui est celui de la réduction du volume du gonflement du manchon.

La disposition de cet appareil est très ingénieuse, mais nous croyons devoir réserver notre opinion sur sa valeur pratique jusqu'à ce que des expériences aient confirmé les prévisions de l'inventeur.

M. Warmont, de Fourchambault, expose, à l'annexe de Vincennes, un moteur à air chaud avec mélange de vapeur de la force de 3 chevaux, composé d'une turbine à aubes courbes, d'un brûleur à pétrole dont la combustion est entretenue par un compresseur d'air, d'une bouteille alimentaire, d'un injecteur-compresseur d'air à grande détente, d'un réducteur de vitesse dans le rapport de 1 à 5, d'une poulie motrice, d'un arbre intermédiaire actionnant par chaîne Galle et balancier double deux compresseurs d'air, d'un volant de mise en marche, d'un débrayage automatique.

L'inventeur définit son appareil comme suit : « Turbines à très basse pression pour moteur à air chaud avec mélange de vapeur, à grande surface d'application de la pression du fluide moteur, effort tangentiel et proportionnel à cette surface en rapport avec la circonférence moyenne des aubes permettant une vitesse angulaire réduite tout en donnant le même travail qu'une turbine à très grande vitesse, à multiples expansions et à distribution automatique et radiale, sans déperdition de calorique. »

La vitesse de cette turbine est de 4,950 tours par minute sous la pression d'un quart d'atmosphère.

L'examen du moteur, la description et les dessins qui nous ont été soumis, nous font admirer l'ingéniosité des dispositions, mais la machine nous semble d'une complication telle que, en admettant même que quelque avantage puisse être obtenu au point de vue de l'utilisation de la chaleur, son application dans le domaine de la pratique et sa généralisation nous paraissent d'autant plus difficilement réalisables que le rendement mécanique n'est certainement pas supérieur à celui des moteurs classiques à air chaud et que la surveillance et l'entretien sont plus onéreux.

Il est regrettable que ce moteur n'ait pas été présenté en marche; les expériences auraient immédiatement fixé, mieux que toute autre considération, l'opinion du Jury sur cette nouvelle machine.

En résumé, les moteurs divers de cette Classe sont, l'un de construction déjà connue, les autres le résultat de conceptions plus ou moins nouvelles ou ingénieuses, mais qui n'ont pas encore reçu la sanction de la pratique.

Nous terminerons l'examen des machines de cette catégorie par une série de manèges à traction animale.

M. Vidal-Beaume, à Boulogne-sur-Seine, présente trois manèges à cheval dont le mécanisme est entièrement logé dans une cage en fonte et évite ainsi toute maçonnerie.

Les autres parties du mécanisme ne présentent aucune particularité.

Puis M. Paradis, à Haumont (Nord), expose quelques manèges entièrement métalliques, d'une construction soignée et bien étudiée.

La traction est très légère, les parties frottantes étant parfaitement ajustées et le graissage pouvant s'opérer facilement.

Pour les manèges de 3 et 4 chevaux, les attelages sont solidaires au moyen de poulies et de tringles d'appel reliées entre elles; les violents coups de collier n'ont ainsi aucune action; on divise l'effort de chaque cheval qui tire sans discontinuer, et la part du travail est réglée à volonté pour chacun d'eux.

TABLE DES FIGURES.

PREMIÈRE PARTIE.

MOTEURS À GAZ ET À PÉTROLE.

Figures.		Pages.
1.	Moteur Bischop	7
2.	Moteur Lenoir à compression	9
3.	Moteur à gaz Kœrting (élévation)	10
4.	Moteur à gaz Otto (allumage par tube)	34
5.	Moteur à gaz Otto (allumage par magnéto)	35
6.	Moteur à gaz Otto (allumage par tube)	35
7.	Moteur Otto pour gaz riche ou pauvre	36
8.	Moteur Otto pour gaz riche ou pauvre	37
9.	Locomobile à pétrole Otto	38
10.	Moteur Diesel (coupe transversale)	39
11.	Moteur Diesel (élévation)	39
12.	Moteur Diesel (plan)	39
13.	Moteur Diesel (coupe de la culasse)	39
14.	Moteur Diesel (détail de la pompe et de son régulateur)	40
15.	Moteur Diesel (coupe longitudinale)	40
16.	Diagrammes relevés sur un moteur Diesel	41
17.	Diagrammes relevés sur un moteur Diesel	41
18.	Moteur à gaz Kœrting-Brulé (élévation latérale)	42
19.	Moteur à gaz Kœrting-Brulé (coupe par la distribution)	43
20.	Moteur à pétrole Kœrting-Brulé (coupe par la distribution)	44
21.	Moteur Brown à air chaud (coupe)	45
22.	Moteur Charon	46
23.	Moteur Charon	47
24.	Moteur Charon	47
25.	Moteur Charon	48
26.	Diagrammes relevés sur moteur à gaz Charon de 25 chevaux	48
27 à 31.	Moteur Roser-Mazurier	50
32.	Moteur Lenoir à compression	52
33.	Moteur Rouart à gaz	53
34.	Moteur Rouart à pétrole	52
35.	Moteur Delamare-Cockerill de 600 chevaux avec soufflerie	55
36.	Moteur Crossley (régulateur perpendiculaire)	57
37.	Moteur Crossley (régulateur à boules)	57
38.	Moteur Crossley	58
39.	Moteur Crossley	58
40.	Moteur Japy à pétrole	61
41.	Moteur Japy à pétrole (coupe longitudinale)	62
42.	Moteur Japy à pétrole (vue en plan)	62

43. Moteur Japy à pétrole (lampe de chauffage) 63
44. Moteur à pétrole Campbell (type fixe horizontal) 64
45. Moteur d'automobile de petite force pour motocycles de MM. Chavanet, Gros, Pichard et Cie 65
46. Antifluctuateur Duplex (coupe transversale) 66
47. Antifluctuateur Duplex 67
48. Gazogène Duplex (coupe transversale) 68
49. Moteur Duplex à double effet (élévation) 69
50. Moteur Duplex à double effet (coupe horizontale) 70
51. Moteur Duplex à double effet (coupe transversale) 71
52. Diagramme du moteur Duplex à double effet 71
53. Diagramme du moteur Duplex à double effet 71
54. Moteur Duplex à gaz 72
55. Moteur Duplex à pétrole 72
56. Moteur Niel à régulateur à ressort 74
57. Moteur Niel à régulateur à boules 75
58. Moteur Banki (élévation latérale) [hors texte] 76
59. Moteur Banki (élévation longitudinale) [hors texte] 76
60. Moteur Banki (coupe longitudinale) 77
61. Moteur Banki (coupe transversale) 78
62. Moteur Banki (coupe plane) 79
63. Moteur Banki (carburateur double et détail de l'action du régulateur) 79
64. Moteur Banki (régulateur) 79
65. Moteur à pétrole Hornsby-Akroyd 80
66. Locomobile à pétrole Hornsby-Akroyd 80
67. Moteur Kœrting à gaz (coupe longitudinale) 82
68. Moteur Kœrting à gaz (plan) 83
69. Moteur Kœrting à gaz (coupe transversale) 84
70. Moteur Kœrting, carburateur (coupe) remplaçant la soupape à gaz pour la marche au pétrole ou à l'alcool 84
71. Moteur à pétrole Priestman 86
72. Moteur à gaz Robey 87
73. Moteur à pétrole Robey 87
74. Moteur à gaz Robey 88
75. Moteur Martini 89
76. Moteur Gobron-Brillié (élévation) 90
77. Moteur Gobron-Brillié (coupes transversale et longitudinale) 90
78. Carburateur et régulateur du moteur Gobron-Brillié 92
79. Moteur Tangye à gaz 94
80. Diagramme du régulateur du moteur Tangye 95
81. Moteur Tangye à pétrole 95
82. Moteur Le Gnome (coupe longitudinale) 96
83. Moteur Le Gnome (coupe transversale) 96
84. Moteur à gaz Blackstone 98
85. Locomobile à pétrole Blackstone 99
86. Moteur Brouhot (type léger) 100
87. Moteur à gaz Champion 101
88. Gazogène Riché (élévation latérale) 103
89. Gazogène Riché (coupe plane inférieure) 103

90. Gazogène Riché (coupe longitudinale par le foyer) 103
91. Gazogène Riché (coupe plane supérieure) 103
92. Gazogène Riché (coupe transversale par une cornue) 103
93. Gazogène Riché (détails des tampons des cornues) 103
94. Moteur à air comprimé de la Compagnie parisienne de l'air comprimé (coupe par le régulateur et vue intérieure du cylindre) 105
95. Moteur à air comprimé de la Compagnie parisienne de l'air comprimé (coupe plane) . . 105
96. Moteur à air comprimé de la Compagnie parisienne de l'air comprimé (élévation) 105
97. Moteur Delahaye (type fixe à essence) 106
98. Moteur Delahaye à essence, type léger (élévation latérale) 107
99. Moteur Delahaye à essence, type léger (plan) 107
100. Moteur Delahaye à essence, type léger (vue arrière) 107
101. Moteur Delahaye à essence, type léger (vue avant) 107
102. Moteur à essence Fritscher et Oudry 108
103. Moteur Fritscher et Oudry, réglage et distribution du moteur horizontal (coupe longitudinale et plan) 108
104. Moteur à essence Fritscher et Houdry 109
105. Moteur Fritscher et Houdry, réglage et distribution du moteur vertical (coupe longitudinale) 109
106. Moteur Grob à pétrole (coupe du carburateur et détail de la soupape d'admission) 110
107. Moteur Grob à pétrole (vue de la distribution) 111
108. Moteur Grob à pétrole (régulateur) 112
109. Moteur à pétrole Howard 113
110. Moteur à pétrole Dudbridge 114
111. Moteur Lacroix (coupe transversale) 115
112. Moteur Lacroix (coupe longitudinale) 116
113. Moteur Loyal (coupe longitudinale du cylindre) 117
114. Moteur Loyal (élévation) 117
115. Carburateur Loyal 118
116. Moteur à gaz Kappel 119
117. Moteur Mietz à pétrole (coupe longitudinale) 120
118. Moteur Mietz à gaz (coupe longitudinale) 120
119. Moteur à pétrole Merlin (coupe longitudinale) 121
120. Moteur à pétrole Merlin (coupe transversale) 121
121. Moteur à pétrole Merlin 122
122. Moteur Ravel 123
123. Gazogène Taylor (élévation) 126
124. Gazogène Taylor (coupe transversale) 127
125. Moteur Wintenberger monté sur une batteuse 128
126. Moteur à pétrole Berlin 129
127. Moteur à pétrole Gundall 130
128. Moteur Dolizy 131
129. Moteur à gaz Dougill 132
130. Carburateur Goutallier 133
131. Gazogène Gardie 135
132. Gazogène L. Guénot (coupe longitudinale) 138
133. Gazogène L. Guénot (coupe plane) 138
134. Antifluctuateur Schrabetz (coupe transversale) 142
135. Antifluctuateur Schrabetz (vue en plan) 142

IMPRIMERIE NATIONALE.

DEUXIÈME PARTIE.

MOTEURS HYDRAULIQUES.

136. Turbine centripète pure 160
137. Turbine centripète demi-mixte 160
138. Turbine centripète mixte 161
139. Aube de roue Pelton 162
140. Coupe d'une turbine Hercule-Progrès 164
141. Turbine Hercule-Progrès (vue extérieure) 166
142. Turbine Hercule à pivot hors de l'eau 167
143. Turbine Hercule-Progrès montée dans sa chambre d'eau 168
144. Aube de turbine Hercule-Progrès. — Aube de turbine Hercule (ancien modèle) 169
145. Turbine Américaine à pivot hors de l'eau 171
146. Turbine Normale dans sa chambre d'eau 174
147. Turbine Morgan Smith, type MC 176
148. Turbine Morgan Smith, type NS 176
149. Coupe horizontale d'une turbine Morgan Smith NS 177
150. Aube d'une turbine type NS 177
151. Turbine système Fontaine 178
152. Turbine centripète double de MM. Piccard, Pictet et Cie 180
153. Turbine Francis de la Société Escher Wyss et Cie 181
154. Vannage Finck 183
155. Vannage Zodel (coupe horizontale) 184
156. Turbine Francis de MM. Ganz et Cie, à Budapest 184
157. Turbine Francis de MM. Ganz et Cie, à Budapest 185
158. Turbine centripète de la Société des ateliers mécaniques d'Arboga (Suède) 187
159. Turbine centripète demi-mixte, de 2,500 chevaux, de la Société Escher Wyss et Cie 188
160. Turbine Francis de 1,000 chevaux de la Société Escher Wyss et Cie 189
161. Turbine de 1,000 chevaux, à triple couronne, de la Société Bell et Cie 190
162. Vannage Schaad 191
163. Vannage Schaad 192
164. Turbine à quadruple couronne, de la Société Bell et Cie 192
165. Turbine à double couronne, de la Société Bell et Cie 193
166. Turbine Francis de la Société Rieter et Cie (coupe horizontale par le distributeur) 194
167. Mécanisme de rotation des directrices de la turbine Rieter 194
168. Turbine à axe horizontal simple de la Société Rieter et Cie 195
169. Turbine Hercule-Progrès dans sa chambre d'eau métallique 197
170. Compensateur hydraulique pour turbine Hercule-Progrès 197
171. Turbine groupe, système Hercule-Progrès, de MM. Singrün frères 198
172. Turbine Hercule-Progrès à axe horizontal simple 199
173. Turbine Hercule-Progrès à axe horizontal double 200
174. Turbine Américaine à axe horizontal simple 201
175. Turbine Américaine à axe horizontal double 201
176. Turbine Normale à axe horizontal simple 202
177. Coupe horizontale, par la roue mobile et le distributeur, d'une turbine de 5,000 chevaux, des chutes du Niagara 203
178. Turbine centrifuge de 1,100 chevaux de la Société Rieter et Cie 204

179. Turbine parallèle système Hiorth.... 208
180. Turbine Excelsior à double injecteur.... 209
181. Turbine Excelsior avec régulateur.... 211
182. Ajutage réglable, breveté s. g. d. g., de MM. Singrün frères (position de marche).... 212
183. Ajutage réglable, breveté s. g. d. g., de MM. Singrün frères (position de fermeture)... 212
184. Turbine Excelsior sur bâti en fonte.... 213
185. Turbine Excelsior jumelle.... 214
186. Turbine à haute pression de la Société Escher Wyss et Cie.... 215
187. Turbine à haute pression de la Société Escher Wyss et Cie, type jumelle.... 216
188. Turbine à haute pression de la Société Théo. Bell et Cie.... 217
189. Turbine système Pelton, de MM. Teisset, Veuve Brault et Chapron.... 218
190. Turbine Girard de MM. Piccard, Pictet et Cie.... 220
191. Petite turbine Piccard, Pictet et Cie pour installation de villes.... 220
192. Régulateur mécanique à double effet de MM. Singrün frères.... 223
193. Régulateur mécanique Piccard pour vannages légers.... 225
194. Régulateur mécanique Piccard pour vannages légers (schéma du fonctionnement).... 226
195. Régulateur mécanique Piccard pour vannages lourds.... 227
196. Régulateur mécanique Piccard pour vannages lourds (schéma du fonctionnement).... 228
197. Régulateur mécanique Laurent et Collot.... 231
198. Cylindre et distributeur du régulateur à servo-moteur hydraulique de MM. Singrün frères.... 233
199. Régulateur hydraulique de la Société Escher Wyss et Cie.... 235
200. Régulateur hydraulique de la Société Escher Wyss et Cie. — Filtre-revolver du régulateur (coupe transversale par le filtre et vue d'avant du filtre).... 236
201. Régulateur de pression de la Société Escher Wyss et Cie.... 238
202. Régulateur hydraulique de la Société Bell et Cie (modèle horizontal).... 240
203. Régulateur hydraulique de la Société Bell et Cie, appliqué à une turbine à haute pression.... 241
204. Régulateur hydraulique système Ribourt.... 244
205. Régulateur système Finck.... 247
206. Régulateur hydraulique de Drammen.... 248
207. Régulateur universel hydro-mécanique de la Société Escher Wyss et Cie.... 249
208. Régulateur universel hydro-mécanique de la Société Escher Wyss et Cie (schéma du fonctionnement).... 249
209. Régulateur-frein système Rusch.... 252

TROISIÈME PARTIE.

MOTEURS À VENT ET MOTEURS DIVERS.

210. Moulin à vent l'Éclipse.... 262
211. Turbine à vent l'Éclipse.... 264

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Composition du jury 3

PREMIÈRE PARTIE.

Moteurs à gaz et à pétrole 5
Considérations générales 5
Les moteurs à gaz aux diverses expositions 5
Progrès réalisés dans la construction des moteurs à gaz et leurs causes 14
Moteurs à essence 25
Moteurs à pétrole 28
Moteurs à alcool 29
Moteurs à acétylène 30
Moteurs à combustion 30
Résumé 32
Description des moteurs exposés 34
Hors concours 34
Grands prix 54
Médailles d'or 63
Médailles d'argent 97
Médailles de bronze 129
Mentions honorables 136
Conclusion 143

DEUXIÈME PARTIE.

Moteurs hydrauliques 144
Considérations générales 144
Historique 149
Aménagement d'une chute d'eau 157
Principes des turbines modernes :
Turbines centripètes 159
Turbines tangentielles 161
Turbines diverses 162
Description des moteurs hydrauliques 162
Turbines pour basses chutes 163
Turbines centripètes mixtes 163
Turbines parallèles 178
Turbines pour moyennes chutes 179
Turbines centripètes pures 180
Turbines centripètes demi-mixtes 187

Turbines centripètes mixtes 196
Turbines centrifuges 202
Turbines parallèles 206
Turbines pour hautes chutes 209
Turbines tangentielles 209
Turbines centrifuges 219
Régulateurs 221
Considérations générales sur les régulateurs pour turbines hydrauliques 221
Régulateurs à action mécanique 222
Régulateurs à servo-moteur hydraulique 232
Régulateurs à action hydro-mécanique 249
Régulateurs-freins 250
Statistique 253
Machines à colonne d'eau 256

TROISIÈME PARTIE.

Moteurs à vent 260
Moteurs divers 267
Table des figures 271

Imprimerie nationale. — 7481-04.

Special
B-Biol 82
v.4, pt.2
UNIVERSITY CENTER
LIBRARY